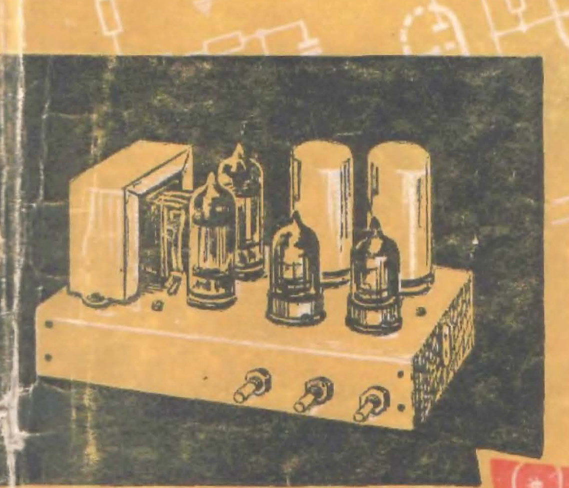

В. М. Большов

Радиолюбительские усилители низкой частоты



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

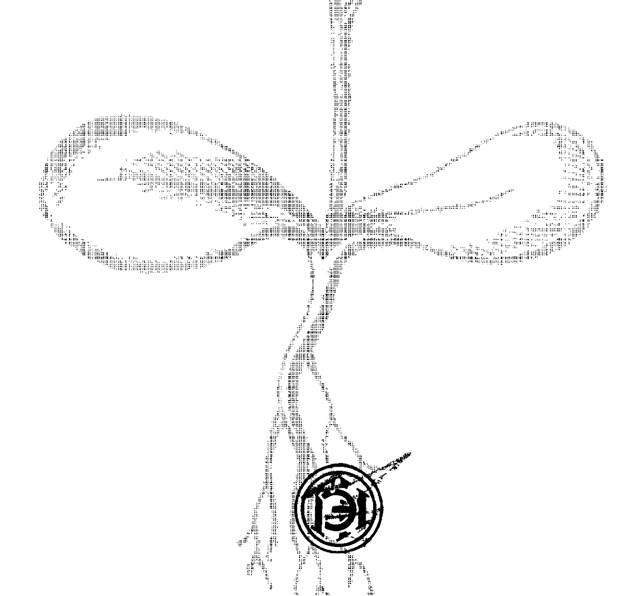
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 422

В. М. БОЛЬШОВ

РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

В книге описаны 27 радиолюбительских усилителей на электронных лампах и транзисторах. Предварительно рассказывается об основных параметрах усилителей низкой частоты, а в конце книги приводятся сведения о налаживании и испытании таких усилителей.

Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей-конструкторов.

6Ф2.12 *Большов Владимир Михайлович*

В 79 **Радиолюбительские усилители низкой частоты**

М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.

128 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 422)

6Ф2 12

Редактор *В. И. Смирнов* Техн. редактор *М. М. Широкова*

Сдано в набор 13/VII 1961 г. Подписано к печати 12/IX 1961 г.

Т-10682 Бумага $84 \times 108^1/_{32}$ 6,56 п. л. Уч-изд. л. 7

Тираж 100 000 экз. (1-й завод 50 000 экз.) Цена 28 коп. Заказ 401

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Конструированием и сборкой усилителей низкой частоты, используемых либо в виде самостоятельных устройств, либо в качестве составных частей приемников, магнитофонов и др., занимаются очень многие радиолюбители. Постройку усилителя начинают обычно с выбора схемы, руководствуясь при этом теми или иными требованиями к усилителю, и выбирают соответствующую схему.

Учитывая, что в выборе той или иной схемы большую помощь радиолюбителям может оказать сборник известных конструкций усилителей низкой частоты, Госэнергоиздат выпускает данную книгу. В ней помещены описания различных усилителей, разработанных радиолюбителями и опубликованных ими в журнале «Радио» за время с 1957 по 1960 г.

Все описания составлены заново. Они подобраны в порядке возрастания сложности конструкции, по возможности сокращены и построены по единому плану. Сначала дается краткая техническая характеристика усилителя, затем отмечаются особенности его схемы, приводятся данные деталей и конструктивные особенности.

Описаниям практических схем усилителей низкой частоты предшествует глава, в которой рассматриваются основные их параметры, а в конце книги помещены сведения по налаживанию и испытанию усилителей.

Отзывы и замечания по этой книге просим направлять по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая набережная, 10, Госэнергоиздат.

Редакция Массовой радиобиблиотеки

Глава первая

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Усилитель низкой частоты характеризуется целым рядом основных параметров, знание которых необходимо не только при проектировании нового усилителя, но и для того, чтобы ориентироваться во всем многообразии существующих схем усилителей и правильно оценивать их эксплуатационные возможности.

Основными параметрами усилителя низкой частоты являются: номинальная выходная мощность и номинальное выходное напряжение, нормальная выходная мощность и нормальное выходное напряжение, чувствительность, полоса воспроизводимых частот, коэффициент нелинейных искажений, динамический диапазон, коэффициент усиления, входное и выходное сопротивления.

Номинальная выходная мощность. Под номинальной выходной мощностью усилителя низкой частоты понимают величину максимальной полезной мощности звуковой частоты, которую может отдать усилитель при заданной величине нелинейных искажений. Выходную мощность измеряют в ваттах или милливаттах (1 *ва*=1 000 *мва*). Номинальная выходная мощность, которую усилитель отдает в нагрузку, $P_{вых}$ может быть определена по формуле

$$P_{вых}=\frac{U^2}{Z_н},$$

где U — действующее значение напряжения на нагрузке, *в*;
$Z_н$ — полное сопротивление нагрузки, *ом*.

Эффективное значение выходного напряжения, которому соответствует номинальное значение выходной

мощности, называется **номинальным выходным напряжением**.

Кроме номинальной выходной мощности, усилители низкой частоты характеризуются так называемой **нормальной выходной мощностью**. Нормальная выходная мощность равна 0,1 от номинальной выходной мощности. Нормальное выходное напряжение, т. е. напряжение на нагрузке, соответствующее нормальной выходной мощности, равно 0,316 от значения номинального выходного напряжения и определяется по формуле

$$U_{\text{вых.норм}} = \sqrt{0{,}1 P_{\text{вых}} Z_{\text{н}}}. \qquad (2)$$

Когда нагрузкой усилителя является электродинамический громкоговоритель, под сопротивлением нагрузки $Z_{\text{н}}$ понимают величину, равную $1{,}2\,R$, где R — сопротивление звуковой катушки громкоговорителя постоянному току. Измерение номинальной выходной мощности обычно производят на частоте 1 000 *гц.* *

Для правильного выбора номинальной выходной мощности усилителя следует познакомиться с одной из характеристик любой звуковой программы — *динамическим диапазоном.* Под динамическим диапазоном *Д* понимают отношение максимального звукового давления $p_{\text{макс}}$ к минимальному $p_{\text{мин}}$, выраженное в децибелах:

$$Д = 10 \lg \frac{p_{\text{макс}}}{p_{\text{мин}}}.$$

Для речи, легкой музыки, хорового пения и большинства музыкальных инструментов динамический диапазон звучания составляет 36—46 *дб.* Для симфонического оркестра динамический диапазон достигает 60—70 *дб*, т. е. наиболее сильные звуки превышают по мощности наиболее слабые в 1 млн. раз и больше.

Передача через различные звукоусилительные системы большого динамического диапазона сопряжена с большими техническими трудностями по двум основным причинам. Для воспроизведения без помех самых тихих звуков минимальный уровень громкости должен

* В промышленной аппаратуре все измерения производят на частоте 400 *гц.*

не менее чем на 10—20 *дб* превышать уровень шумов в помещении, где воспроизводится данная программа. Поскольку в реальных условиях уровень шумов в жилой комнате средних размеров в городе составляет 20—30 *дб*, то минимальный уровень громкости должен быть не менее 30—50 *дб*. В этом случае максимальный уровень громкости в комнате будет составлять 100—120 *дб*.

Такая громкость из-за несовершенства звукоизоляционных свойств стен и перекрытий жилых помещений будет создавать значительные помехи в соседних помещениях. Кроме этого, для создания максимального уровня громкости в 100 *дб* потребовались бы дорогие и высококачественные установки, используемые только в крупных концертных залах и кинотеатрах. В настоящее время динамический диапазон ограничен значением 40—50 *дб*, а максимальный уровень громкости принят равным 80—90 *дб*. Для обеспечения такого динамического диапазона и уровня громкости в комнате с объемом 50—100 $м^3$ номинальная выходная мощность усилителя низкой частоты должна составлять примерно 4—6 *вт*. Номинальную выходную мощность усилитель будет развивать лишь в отдельные моменты времени. Средняя же звуковая мощность, которую развивает усилитель во время передачи, составляет лишь малую часть от номинальной выходной мощности и примерно равна нормальной выходной мощности.

Громкость, с которой наше ухо слышит данную передачу, определяется именно средней мощностью. Средняя мощность, необходимая для прослушивания передачи в тихой комнате, должна составлять всего 25—50 *мвт*, в комнате со средним уровнем шумов (слышен шум улицы, ведутся разговоры) 100—200 *мвт* и для очень громкого воспроизведения в жилой комнате 0,5—1 *вт*.

Для передачи же всего динамического диапазона выходная мощность усилителя низкой частоты должна быть значительно больше. Установлены следующие номинальные значения выходных мощностей для радиоприемников с питанием от электросети: для приемников первого класса 6 *вт*, для второго класса 2 *вт* и для третьего и четвертого классов 0,5 *вт*.

Чувствительность. Под чувствительностью усилителя понимают величину действующего значения напряжения на входе усилителя, в вольтах или милли-

вольтах, при котором мощность на нагрузке усилителя равна номинальной (регулятор усиления при этом должен стоять в положении наибольшего усиления).

Измерение чувствительности, так же как и выходной мощности, обычно производят на частоте 1 000 *гц*. Обычно чувствительность усилителей, предназначенных для работы от звукоснимателя, диодного детектора или дискриминатора составляет 0,1—0,25 *в*. Усилители, рассчитанные на работу от электродинамического микрофона, имеют высокую чувствительность, равную 0,5—2 *мв*. Чувствительность усилителя записи для магнитофона при записи с микрофона примерно такого же порядка. Чувствительность усилителей воспроизведения в значительной степени зависит от конструкции магнитных головок и составляет 5—10 *мв* для головок однодорожечной записи и 0,5—5 *мв* для головок двухдорожечной записи.

Искажения в усилителях. Все установки, предназначенные для воспроизведения звука, в той или иной степени искажают звуковую программу. В зависимости от степени искажений усилительные установки и радиовещательные радиоприемники подразделяют на следующие классы:

Высший класс, — в него входит аппаратура, обеспечивающая звучание, при котором искажения и помехи «практически незаметны» для высококвалифицированных экспертов и «совершенно незаметны» для остальных слушателей. Высшему классу качества должна соответствовать аппаратура передающей части радиовещательного тракта.

Первый класс — искажения при звучании аппаратуры данного класса искажения и помехи «неуверенно замечаются» высококвалифицированными экспертами и «практически незаметны» для остальных слушателей при непосредственном сравнении со звучанием аппаратуры высшего класса.

Второму классу соответствует звучание, при котором искажения и помехи «уверенно замечаются» высококвалифицированными специалистами и «заметны неуверенно» для остальных слушателей.

Третьему классу качества соответствует звучание, при котором искажения и помехи «уверенно замечаются».

Возникающие в усилителях низкой частоты искажения по характеру их возникновения разделяют на две группы. К первой группе относятся так называемые амплитудно-частотные или линейные искажения, ко второй группе — нелинейные искажения.

Сущность возникновения линейно-частотных (будем впредь называть их просто частотными) искажений состоит в следующем. Человек воспринимает как слышимый звук только те колебания, которые имеют частоту

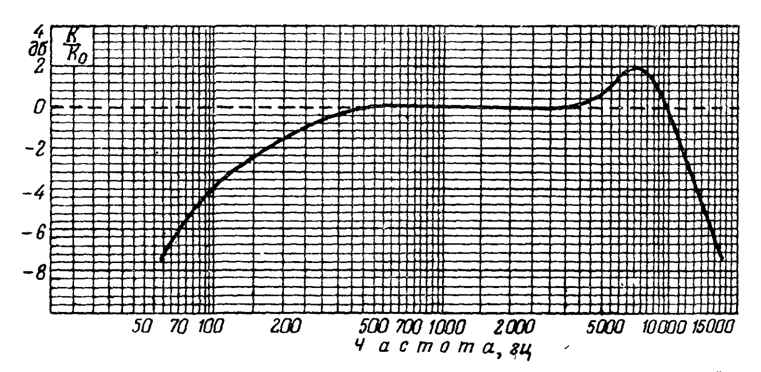


Рис. 1. Примерная частотная характеристика усилителя низкой частоты.

в пределах 20—20 000 *гц*. Передача такой широкой полосы частот через звукоусилительные системы и, в частности, через усилители низкой частоты без искажений сопряжена со значительными техническими трудностями. Из-за наличия в усилителях частотно-зависимых элементов (индуктивностей, емкостей) усилитель неодинаково усиливает напряжения различных частот.

Качество передачи усилителем различных частот характеризуется его частотной характеристикой. Пример частотной характеристики показан на рис. 1 сплошной линией. По горизонтальной оси на частотной характеристике откладывают значения частоты обычно в логарифмическом масштабе, а по вертикальной оси — отношение коэффициента усиления на данной частоте K к коэффициенту усиления на частоте 1 000 *гц* — K_0, выраженное обычно в децибелах.

При отсутствии частотных искажений частотная характеристика усилителя представляла бы собой прямую

линию, параллельную оси частот (идеальная частотная характеристика).

Ход частотной характеристики показывает, как изменяется усиление усилителя по сравнению с усилением на частоте 1 000 *гц*. Например, из графика на рис. 1 видно, что на частоте 100 *гц* коэффициент усиления на 4 *дб* меньше, чем на частоте 1 000 *гц*. На частоте 7 000 *гц*, наоборот, имеется увеличение коэффициента усиления на 2 *дб*.

Некоторые характерные особенности частотной характеристики получили специальные названия: ослабление каких-либо частот (по отношению к усилению на частоте 1 000 *гц*) называют завалом этих частот, подчеркивание — подъемом.

Резкий подъем усиления на относительно узком участке частотной характеристики называют пиком, а резкое уменьшение усиления — провалом.

Слуховое восприятие неравномерностей частотной характеристики можно охарактеризовать следующим образом:

1. Завал низших частот воспринимается как «резкий оттенок» в звучании музыки, звук становится более звонким и приобретает неприятный металлический характер. При передаче речи завал низших частот менее заметен.

2. Подъем низших частот воспринимается как «бубнящий» звук.

3. Завал высших частот воспринимается так же, как «бубнящий» звук, причем звук становится глухим, как если бы мы слушали через плотный тяжелый занавес.

4. Подъем высших частот приводит к неприятному подчеркиванию шипящих и свистящих звуков.

При одновременном завале низших и высших частот звучание начинает напоминать характерное звучание телефона.

Частотные искажения в усилителях низкой частоты обычно характеризуют не частотными характеристиками, а так называемой полосой пропускания частот. Под полосой пропускания усилителя низкой частоты понимают диапазон частот, в пределах которого отклонения от идеальной частотной характеристики не превышают ±6 *дб* (2 раза). Иногда допускают и бо́льшую неравномерность, что, однако, должно специально оговаривать-

ся. Так, например, полоса частот, воспроизводимая усилителем, частотная характеристика которого приведена на рис. 1, от 70 *гц* до 15 000 *гц*. При этом частоты 70 и 15 000 *гц*, т. е. частоты, на которых завал усиления равен 6 *дб*, называют нижней и верхней граничными частотами соответственно. В данном случае нижняя граничная частота равна 70 *гц*, а верхняя — 15 000 *гц*.

В результате длительных экспериментов была определена следующая необходимая ширина полосы пропускания звуковоспроизводящих систем, определенная на уровне 6 *дб:*

высший класс 30—13 000 *гц*;
первый класс 50—10 000 *гц*;
второй класс 100—5 000 *гц*;
третий класс 300—2 500 *гц*.

Из этой классификации видно, что по мере уменьшения класса аппаратуры происходит сужение полосы воспроизводимых частот как со стороны низших, так и со стороны высших частот. Опытным путем было найдено, что произведение низшей граничной частоты полосы пропускания $F_н$ на высшую граничную частоту $F_в$ должно составлять:

$$F_н F_в = 640\,000.$$

Этим соотношением следует руководствоваться при выборе граничных частот проектируемой звуковоспроизводящей установки.

В вышеприведенной классификации учтены частотные искажения всего звуковоспроизводящего тракта, начиная от микрофона и кончая громкоговорителем. Очевидно, для воспроизведения желаемой полосы частот усилитель низкой частоты должен иметь более широкую полосу пропускания как в сторону высших, так и в сторону низших частот с неравномерностью не более 1—2 *дб*.

Следует отметить, что форма частотной характеристики в зависимости от назначения усилителя может существенно отличаться от приведенной на рис. 1.

Нелинейные искажения. Нелинейные искажения возникают в усилителях вследствие нелинейности амплитудных характеристик отдельных элементов усилителей, например радиоламп, кривой намагничивания стальных сердечников выходных трансформаторов и т. д.

Под амплитудной характеристикой радиоустройств, в частности усилителей низкой частоты, понимают график зависимости выходного напряжения от входного, снятый при определенной частоте входного сигнала. Обычно амплитудные характеристики усилителей низкой частоты снимают при частоте входного сигнала 1 000 *гц*. Примерный вид амплитудной характеристики показан на рис. 2.

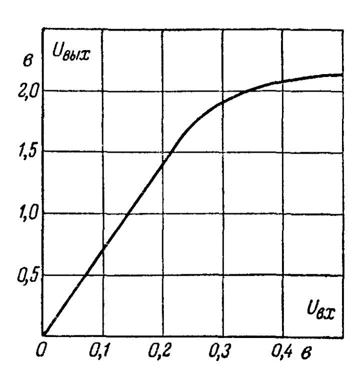


Рис. 2. Амплитудная характеристика усилителя низкой частоты.

Если на вход усилителя, имеющего нелинейную амплитудную характеристику, подать напряжение чисто синусоидальной формы с частотой f_1, то напряжение на выходе усилителя будет несинусоидально. Это значит, что, помимо основной частоты, в выходном напряжении появятся составляющие с частотами, кратными основной, т. е. $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$ и т. д. Эти составляющие называются гармониками. Номер гармоники показывает, во сколько раз частота гармоники больше основной частоты. Например, частота второй гармоники в 2 раза больше основной частоты, третьей — в 3 раза и т. д. Амплитуды гармоник, как правило, убывают по мере возрастания номера гармоники.

Процесс возникновения нелинейных искажений в усилителях можно показать на примере усилителя на триоде. На рис. 3 показана сеточная характеристика одного триода лампы 6Н2П. Эта характеристика (снятая при $U_а=250$ *в* и $R_а=10$ *ком*) имеет линейный участок в пределах от —2 *в* до 0 *в*.

Выберем рабочую точку при напряжении на сетке, равном —1,5 *в*. При подаче на сетку лампы синусоидального напряжения с амплитудой 0,5 *в* форма анодного тока, а следовательно, и напряжения на сопротивлении нагрузки, будет также синусоидальная. При увеличении входного напряжения до 1,5 *в* кривая анодного тока становится несимметричной относительно оси времени *t*. Так, амплитуда положительной полуволны анодного тока равна 2,5 *ма*, а амплитуда отрицательной

полуволны — 1,7 *ма*. Соответственно амплитуды полуволн выходного напряжения будут составлять 25 *в* и 17 *в*.

Полученная несимметричная форма выходного сигнала может быть представлена как сумма двух напряжений: напряжения основной частоты и второй гармоники.

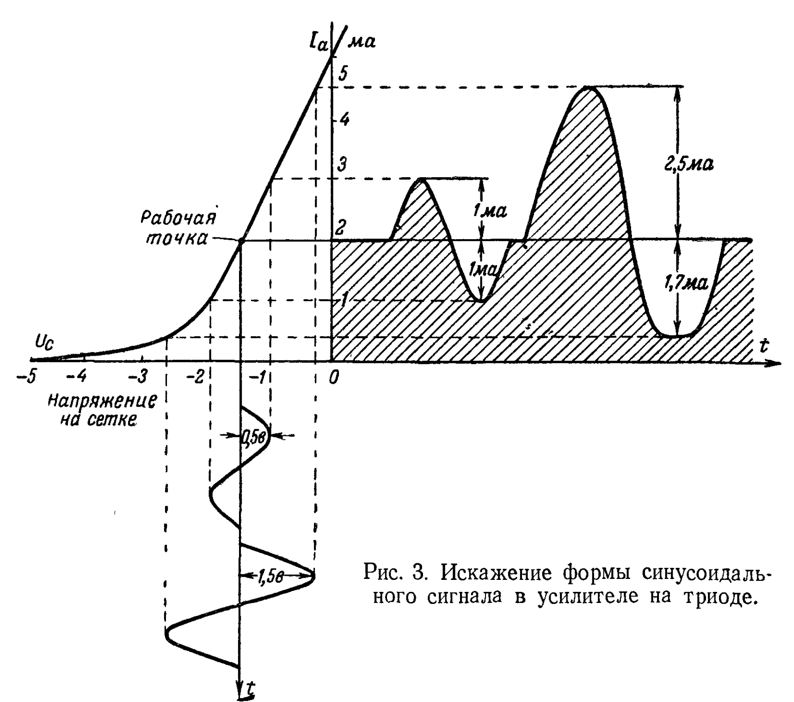


Рис. 3. Искажение формы синусоидального сигнала в усилителе на триоде.

Амплитудные значения возникших гармоник зависят в основном от степени нелинейности амплитудной характеристики и величины сигнала.

При малой величине сигнала почти всегда рабочую точку на амплитудной характеристике можно выбрать так, чтобы использовать ее линейный участок. Это характерно для каскадов предварительного усиления низкой частоты, поэтому возникающие в них нелинейные искажения невелики. Работа оконечных каскадов усилителей низкой частоты характеризуется значительными амплитудами усиливаемого сигнала и почти полным использованием сеточных характеристик ламп, поэтому

и нелинейные искажения в этих каскадах могут быть весьма значительными. Значительные нелинейные искажения в оконечных каскадах усилителей низкой частоты могут возникать из-за выходного трансформатора. При использовании сердечника из стали низкого качества или при малом объеме сердечника нарушается пропорциональность между анодным током и напряжениями на обмотках трансформатора, т. е. также возникают нелинейные искажения.

На рис. 4 представлены различные виды искажений синусоидального сигнала, получающиеся при наличии второй и третьей гармоник.

Из этих кривых видно, что при наличии второй (и более высоких четных гармоник: четвертой, шестой и т. д.) форма сигнала в зависимости от соотношения фаз основного сигнала и гармоник может быть как симметрична (рис. 4,*а* и *б*), так и несимметрична относительно оси времени (рис. 4,*в* и *г*). При наличии третьей (и более высоких нечетных гармоник: пятой, седьмой и т. д.) форма сигнала всегда симметрична относительно оси времени (рис. 4,*д*, *е*, *ж* и *з*).

Для усилительных каскадов на триодах характерно то, что при наличии нелинейных искажений в выходном сигнале преобладают, как правило, четные гармоники. В усилителях на пентодах и лучевых тетродах преобладающими являются нечетные гармоники. В двухтактных усилителях четные гармоники уничтожаются полностью или значительно ослабляются, поэтому искажения в двухтактных усилителях определяются в основном нечетными гармониками.

Для количественной оценки (в процентах) нелинейных искажений пользуются так называемым коэффициентом нелинейных искажений. Коэффициент нелинейных искажений $K_н$ количественно равен отношению корня квадратного из мощности всех гармоник $P_г$ к мощности основной частоты P_1, т. е.

$$K_н = \frac{\sqrt{P_г}}{P_1} 100\%.$$

На практике производят измерение не мощности гармоник и основной частоты, а напряжений этих частот. Если принять, что сопротивление нагрузки неизменно

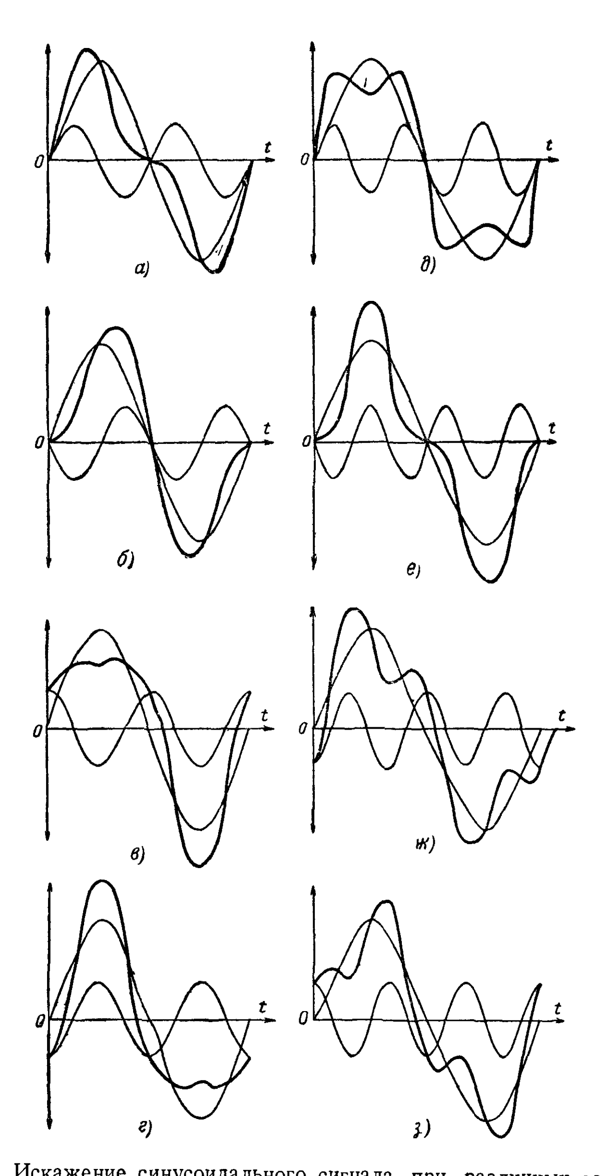


Рис. 4. Искажение синусоидального сигнала при различных соотношениях фаз основной частоты и гармоник.

а, б, в, г — при наличии второй гармоники; *д, е, ж, з* — при наличии третьей гармоники.

для основной частоты и гармоник, коэффициент нелинейных искажений можно определить как отношение действующих значений напряжений всех гармоник к действующему значению напряжения основной частоты:

$$K_н = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \ldots + U_n^2}}{U_1} 100\%,$$

где U_2, U_3, U_n — действующие значения напряжений основной частоты, второй, третьей и т. д. гармоник соответственно.

Если, например, коэффициент нелинейных искажений усилителя равен 5%, то это значит, что усилитель принес в усилительный сигнал добавочные гармоники, действующее значение которых составляет 5% от действующего значения основной частоты.

В существующих приборах для измерения нелинейных искажений коэффициент нелинейных искажений измеряется как отношение действующего значения напряжений гармоник к действующему значению полного сигнала, т. е. суммарному значению основной частоты и гармоник. В этом случае коэффициент нелинейных искажений определяется по формуле

$$K'_н = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \ldots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \ldots U_n^2}} 100\%.$$

Первое выражение более правильно, второе же более просто измерить. Кроме этого, получающаяся при измерении ошибка невелика и на слух коэффициент нелинейных искажений с точностью лучше 5—10% определить невозможно. Между этими двумя значениями коэффициента нелинейных искажений существует следующая зависимость:

$$K'_н = \frac{K_н}{\sqrt{1 + K_н^2}}.$$

В з а и м н о - м о д у л я ц и о н н ы е (и н т е р м о д у л я ц и о н н ы е) и с к а ж е н и я. При рассмотрении нелинейных искажений в усилителях говорилось, что степень нелинейности амплитудной характеристики определя-

лась путем подачи на вход усилителя синусоидального напряжения. Большинство естественных источников звука создает не чистые синусоидальные тона, а целый ряд тонов одновременно с беспорядочным соотношением частот этих тонов. Следовательно, исследование нелиней-

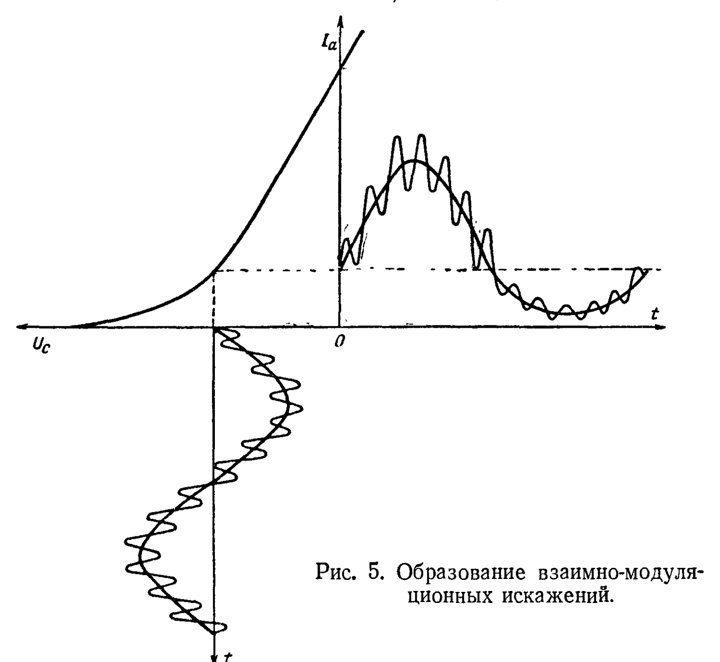


Рис. 5. Образование взаимно-модуляционных искажений.

ных искажений в усилителях с помощью синусоидального сигнала одной частоты производится в условиях, далеких от реальных.

Чтобы несколько приблизиться к реальным условиям, подадим на вход усилителя два напряжения различной частоты f_1 и f_2 (за рубежом приняты частоты 60 и 6 000 *гц* с соотношением амплитуд низкочастотного напряжения к высокочастотному 4 : 1).

Взаимно-модуляционные искажения обусловлены модуляцией относительно слабых высокочастотных составляющих звукового спектра, более мощными колебаниями низких частот.

Процесс образования взаимно-модуляционных искажений показан на рис. 5.

Математический анализ показывает, что вследствие нелинейных искажений на выходе усилителя, кроме составляющих с частотами f_1 и f_2 и их высших гармоник ($2f_1$, $3f_1$, $2f_2$, $3f_2$ и т. д.), появятся комбинационные составляющие с различными частотами, например:

$$f_1-f_2,\ f_1+f_2,\ 2f_1+2f_2,\ f_1+2f_2,\ f_1-2f_2$$

и т. д.

Указанные искажения в усилителях являются нелинейными искажениями, однако в отличие от рассмотренных выше нелинейных искажений называются взаимномодуляционными (или интермодуляционными) искажениями.

Наиболее интенсивными из комбинационных частот будут разностные частоты f_1-f_2, $2f_1-f_2$ и т. д. Таким образом, если в естественном источнике звука все многообразие частот существует «самостоятельно», не мешая друг другу, то после усиления эти частоты смешиваются между собой и образуют частоты, отсутствующие в оригинальном звуке. Например, если источник звука получает спектр, состоящий всего из двух частот, например 600 *гц* и 1 400 *гц*, то на выходе усилителя возникнут два новых колебания с частотами 1 400—600 *гц*= =800 *гц* и 1 600 *гц*+400 *гц*=2 000 *гц*.

Возникновение гармоник в процессе усиления менее заметно на слух, чем возникновение комбинационных частот. Это объясняется тем, что любой звуковой сигнал (музыка, пение, речь и т. д.) имеет в своем спектре значительное число гармоник. Поэтому те гармоники, которые возникают в усилителе, добавляются к гармоникам сигнала и сравнительно мало ухудшают качество воспроизведения.

Комбинационные же частоты представляют собой новые, появившиеся в процессе усиления, колебания, поэтому они и создают главным образом искажения звука.

Особенно неприятное впечатление вызывают комбинационные частоты, появляющиеся от двух высоких тонов, например, от звука двух скрипок, разность частот между которыми составляет сотни герц. Разностные тона в этом случае очень неприятно действуют на слух, проявляясь как своеобразное «дрожание» звучания.

Фазовые искажения. Прежде чем рассмотреть фазовые искажения, обратимся к фазовой характе-

ристике. Фазовой характеристикой называется зависимость фазового сдвига, вносимого усилителем для каждого гармонического колебания данной частоты, от частоты. Если фазовая характеристика имеет вид, показанный на рис. 6 сплошной линией (идеальная фазовая характеристика), то фазовый сдвиг будет пропорциона-

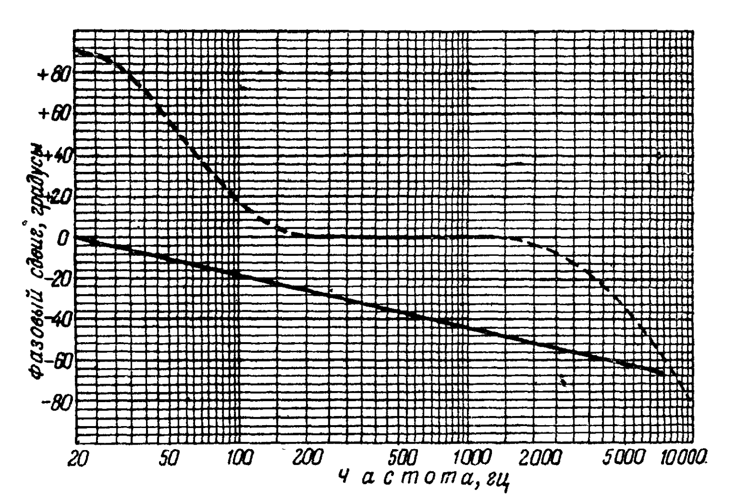


Рис. 6. Фазовая характеристика: идеального (сплошная линия) и реального (пунктирная линия) усилителей.

лен частоте, и поэтому время прохождения через усилитель будет одинаково для всех составляющих сложного сигнала с разными частотами.

Из-за наличия в схемах емкостей и индуктивностей фазовые характеристики реальных усилителей отличаются от идеальных. Реальная фазовая характеристика усилителя низкой частоты показана на рис. 6 пунктирной линией.

При наличии фазовых искажений время прохождения сигнала через усилитель будет не одинаково для напряжений с различными частотами. А это приведет к тому, что при подаче на вход усилителя сигнала сложной формы изменятся фазовые соотношения между составляющими этого сигнала.

Пусть на вход усилителя поступает сигнал, состоящий из первой и второй гармоник, причем сдвиг фаз

между ними равен нулю (рис. 7,*а*). Если при прохождении через усилитель вторая гармоника получит сдвиг на 90°, то сигнал на выходе усилителя будет иметь вид, показанный на рис. 7,*б*.

Таким образом, наличие фазовых искажений приводит к искажению формы сложных колебаний. Однако

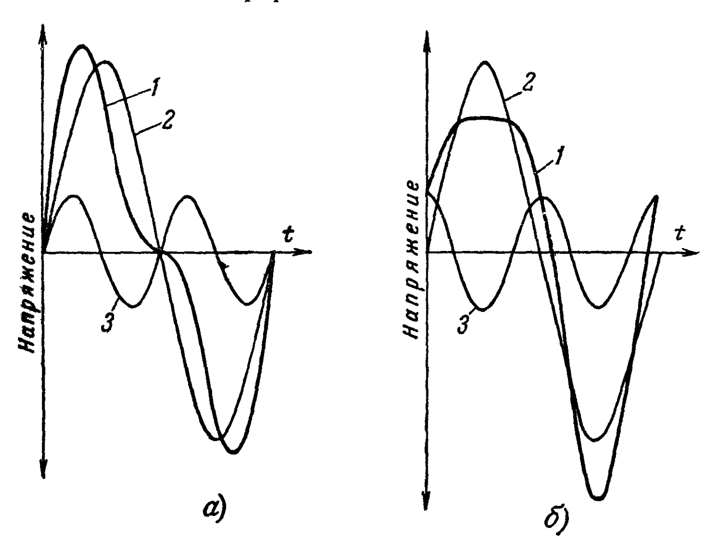


Рис. 7. Искажения формы кривой сложного сигнала при фазовых искажениях.

а — сигнал на входе усилителя; *б* — сигнал на выходе усилителя; *1* — суммарный сигнал; *2* — первая гармоника; *3* — вторая гармоника.

в отличие от нелинейных искажений наш слух не реагирует на фазовые искажения.

Однако при проектировании современных усилителей низкой частоты на фазовые искажения приходится обращать самое серьезное внимание. Все современные усилители для улучшения их качественных показателей охватываются отрицательной обратной связью. Чем больше глубина обратной связи, тем выше качественные показатели усилителей. Однако улучшение показателей усилителей возможно лишь до известных пределов, после чего может наступить самовозбуждение усилителя из-за наличия фазовых искажений.

Для того чтобы обратная связь была отрицательной, необходимо, чтобы фаза напряжения обратной связи

отличалась точно на 180° от фазы входного напряжения. Это условие выполняется лишь на средних частотах. На крайних частотах из-за наличия фазовых искажений фаза между напряжениями обратной связи и сигнала не будет равна 180°. Если дополнительный сдвиг фазы между напряжением обратной связи и напряжением сигнала за счет фазовых искажений в усилителе достигнет значения 180°, то обратная связь в этом случае будет положительной. Вследствие этого при достаточной глубине обратной связи может наступить самовозбуждение усилителя. Поэтому глубина обратной связи должна быть не больше 15—18 *дб* для двухкаскадного усилителя и не больше 10—12 *дб* для трехкаскадного усилителя. Более трех каскадов охватывать обратной связью не рекомендуется.

Наибольшие фазовые искажения вносят трансформаторы, поэтому в настоящее время разработаны схемы усилителей низкой частоты без выходных трансформаторов. Такие схемы позволяют охватывать усилитель более глубокой отрицательной обратной связью, а следовательно, и улучшить его качественные показатели.

Заметность нелинейных искажений. Вследствие нелинейных искажений изменяется тембр звука, в воспроизводимом сигнале появляются хрипы, шорохи и трески, разборчивость передачи ухудшается. При очень значительных нелинейных искажениях передача делается совершенно неразборчивой. Для того чтобы правильно подойти к выбору коэффициента нелинейных искажений, необходимо учесть, что:

1) нелинейные искажения тем заметнее, чем шире полоса частот звуковоспроизводящего тракта;

2) заметность нелинейных искажений зависит от того, какие гармоники преобладают в искаженном сигнале: четные или нечетные; наименее заметны на слух четные гармоники, особенно при воспроизведении музыки, так как четные гармоники, являясь октавой, мало нарушают гармоническую структуру аккорда; наиболее неприятны на слух искажения от третьей гармоники;

3) нелинейные искажения наиболее заметны в полосе частот 800—2 000 *гц* (в области наибольшей чувствительности уха), в области низших звуковых частот (ниже 400 *гц*) ухо мало чувствительно к искажениям;

4) зависимость от частоты восприятия на слух нели-

нейных искажений; с точки зрения заметности нелинейных искажений наиболее благоприятным является случай, когда коэффициент нелинейных искажений уменьшается с ростом частоты; наихудшие результаты получаются в том случае, когда коэффициент нелинейных искажений возрастает с частотой;

5) взаимно-модуляционные искажения более заметны на слух, чем нелинейные искажения, возникающие при передаче чистого тона;

6) искажения, вносимые звуковоспроизводящим трактом, зависят от уровня сигнала; обычно искажения тем больше, чем выше уровень сигнала; для усилителей низкой частоты указывается коэффициент нелинейных искажений при номинальной выходной мощности.

Исходя из заметности нелинейных искажений, на радиовещательные приемники устанавливает следующие значения нелинейных искажений по звуковому давлению для всего тракта усиления приемников при номинальной выходной мощности:

1. Первый класс: на частотах от 200 до 400 *гц* — не более 7% и на частотах выше 400 *гц* — не более 5%.

2. Второй и четвертый классы: на частотах от 100 до 200 *гц* — не более 10%, на частотах выше 200 *гц* — не более 7%.

3. Третий класс: на частотах до 400 *гц* — не более 12%, на более высоких частотах — не выше 10%.

Для усилителей радиотрансляционных узлов первого класса коэффициент нелинейных искажений не должен превышать 4% на частотах до 100 *гц* и более 2,5% на более высоких частотах. Для усилителей второго класса для тех же частот коэффициент нелинейных искажений соответственно не более 10 и 4%. Коэффициент нелинейных искажений для усилителей третьего класса нормируется только для частот выше 100 *гц*, где он не должен превышать 8%.

При выборе коэффициента нелинейных искажений усилителя необходимо иметь в виду, что почти все звенья звуковоспроизводящего тракта вносят нелинейные искажения, одни больше, другие меньше. Коэффициент нелинейных искажений современных микрофонов не превышает 1%, радиовещательные станции также ведут передачи с малыми нелинейными искажениями 1—2%, т. е. искажения в этих звеньях малы и их можно

не учитывать. Наибольшие искажения возникают в усилителях низкой частоты и в громкоговорителях. Для получения высококачественного воспроизведения звука необходимо, чтобы суммарный коэффициент нелинейных искажений всего устройства не превышал 5—7%. Для удовлетворения этого условия коэффициент нелинейных искажений усилителя не должен превышать 1—2% в полосе частот 400 *гц* и выше и 2—4% в полосе частот до 400 *гц*.

Для уменьшения нелинейных искажений рекомендуется применять громкоговорители с номинальной мощностью, большей, чем номинальная выходная мощность усилителя.

Уровень фона и собственных шумов (динамический диапазон). Для оценки качественных показателей усилителей большое значение имеет его уровень фона и собственных шумов.

В электрических цепях и, в частности, в усилителях низкой частоты под динамическим диапазоном понимают отношение номинального выходного напряжения к минимальному, т. е. к напряжению собственных шумов и фона, выраженное в децибелах:

$$Д = 20 \lg \frac{U_{\text{вых.ном}}}{U_{\text{шума}}}.$$

Другими словами, динамический диапазон усилителя показывает относительный уровень собственных шумов и фона по отношению к номинальному выходному напряжению. Поэтому на практике часто вместо динамического диапазона для усилителей низкой частоты просто указывается уровень собственных шумов и фона в децибелах.

Уровень собственных шумов и фона усилителя N в децибелах определяется по формуле

$$N = -20 \lg \frac{U_{\text{вых ном}}}{U_{\text{шума}}}.$$

Совершенно очевидно, что для сохранения динамического диапазона передачи необходимо, чтобы динамический диапазон усилителя был больше динамического диапазона усиливаемого сигнала. Для того чтобы самые

тихие звуки воспроизводились без помех, уровень собственных шумов и фона должен быть на 10—20 *дб* ниже уровня этих звуков. Таким образом, для воспроизведения большинства передач динамический диапазон усилителя должен быть не менее 46—50 *дб*, а для прослушивания симфонического оркестра — не менее 80—90 *дб*.

ГОСТ на радиовещательные приемники предусматривает следующие нормы уровня собственных шумов и фона:

для первого класса 46 *дб*;
для второго класса 36 *дб*;
для третьего класса 32 *дб*.

Следует отметить, что в отношении требований к уровню шумов и фона этот ГОСТ в настоящее время устарел и выпускаемые приемники превосходят требования ГОСТ.

Допустимые нормы уровня фона и собственных шумов для трансляционных усилителей имеют следующие значения:

Уровень шумов и фона для трансляционных усилителей должен быть не выше:

для усилителей первого класса 55 *дб*;
для усилителей второго класса 50 *дб*;
для усилителей третьего класса 40 *дб*.

Пределы регулирования тембра. Каждый современный усилитель низкой частоты имеет, как правило, регуляторы тембра, с помощью которых можно в широких пределах регулировать частотную характеристику усилителя. Наличие регуляторов тембра позволяет наилучшим образом в каждом отдельном случае согласовать акустические свойства озвучиваемого помещения в соответствии с индивидуальными требованиями слушателей к качеству воспроизведения.

В зависимости от конкретных требований к степени регулировки частотной характеристики регуляторы тембра могут выполняться различным образом. В простейшем случае регулятор тембра представляет собой переключатель на два положения, например, «музыка — речь». Более часто используются регуляторы тембра, позволяющие плавно изменять частотную характеристику усилителя. В простых усилителях низкой частоты, радиоприемниках и радиограммофонах обычно применяют один регулятор тембра, позволяющий плавно из-

менять частотную характеристику в области высших звуковых частот — регулятор тембра высших частот. В более сложных усилителях и радиоприемниках обычно используют два регулятора тембра, с помощью которых можно производить раздельную и независимую регулировку тембра на высших и низших частотах.

В последних моделях усилителей низкой частоты радиоприемников и телевизоров используют ступенчатые регуляторы тембра — тон-регистры, которые сразу изменяют форму частотной характеристики усилителя так, чтобы он наилучшим образом воспроизводил данную программу. Тон-регистры обычно имеют несколько положений: «Оркестр», «Речь», «Бас», «Джаз» и т. д.; переключение рода программ осуществляется с помощью кнопочного или клавишного переключателя.

Эффективность регуляторов тембра оценивается по относительному изменению усиления (в децибелах) на крайних частотах полосы пропускания по отношению к усилению на частоте 1 000 *гц*.

При выборе степени регулировки тембра следует учитывать, что заметное на слух изменение тембра передачи происходит в том случае, если регуляторы тембра позволяют изменять усиление на данной частоте не менее чем на 6 *дб* (в 2 раза).

В большинстве случаев такие пределы регулировки оказываются недостаточными и в современных усилителях пределы регулировки составляют не менее ±12—20 *дб* как на низших, так и на высших частотах.

Следует также отметить, что схемы регуляторов тембра должны быть выполнены так, чтобы при регулировке тембра изменение усиления на частоте 1 000 *гц* происходило не более чем на ±3 *дб*.

ГОСТ на радиовещательные приемники предусматривает в приемниках первого класса наличие раздельной регулировки на высших и низших звуковых частотах. Подъем низших частот с помощью регуляторов тембра должен быть не менее 4 *дб*, а подъем высших частот не менее 6 *дб*. Завал низших и высших частот должен быть не менее 6 *дб*. В радиоприемниках второго класса подъем и завал нижних частот должен быть не менее 3 *дб*, завал высоких частот должен быть не менее 6 *дб*. В приемниках третьего и четвертого классов регуляторы тембра отсутствуют.

Коэффициент усиления. Любой усилитель можно охарактеризовать коэффициентом усиления, который показывает отношение величины напряжения или мощности, которую усилитель отдает в нагрузку, к величине напряжения или мощности на входе усилителя. Соответственно этому различают коэффициент усиления по напряжению K_u:

$$K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$$

и коэффициент усиления по мощности K_p

$$K_p = \frac{P_{вых}}{P_{вх}}.$$

В том случае, когда входное сопротивление $R_{вх}$ равно сопротивлению нагрузки $R_{нагр}$, коэффициент усиления по мощности равен коэффициенту усиления по напряжению.

Поскольку коэффициент усиления иногда имеет значения, меньшие единицы, т. е. напряжение на выходе усилителя меньше напряжения на входе, то иногда вместо понятия коэффициента усиления пользуются эквивалентным понятием коэффициента передачи.

Усиление усилителя может быть выражено в децибелах. Для усилителей напряжения коэффициент усиления в децибелах определяют по формуле

$$K_u = 20 \lg \frac{U_{вых}}{U_{вх}};$$

для усилителей мощности усиление в децибелах определяется, как

$$K_p = 10 \lg \frac{P_{вых}}{P_{вх}}.$$

Из-за наличия частотных искажений коэффициент усиления усилителей неодинаков в пределах полосы пропускания усилителя. Поэтому обычно указывается коэффициент усиления на частоте 400 или 1 000 *гц*.

Входное сопротивление. Под входным сопротивлением усилителя понимают сопротивление для переменного тока между входными зажимами усилителя. Входное сопротивление усилителя является сопротивлением нагрузки для источника переменной э. д. с., которая подключается на вход усилителя. Для того чтобы ко входу усилителя была приложена большая часть э. д. с. источника, необходимо, чтобы внутреннее сопротивление источника было значительно меньше входного сопротивления усилителя. В усилителях на электронных лампах это условие выполнимо для большинства источников э. д. с. низкой частоты: диодный детектор, дискриминатор, звукосниматель, магнитофонная головка, микрофон и т. д. Наиболее высокое внутреннее сопротивление из этих источников имеют пьезоэлектрический звукосниматель 0,5—1 *Мом* и диодный детектор. В ламповых усилителях низкой частоты входное сопротивление практически определяется сопротивлением утечки первого каскада усилителя и поэтому без труда может быть сделано равным 1—5 *Мом.*

В транзисторных усилителях входное сопротивление определяется сопротивлением цепи база — эмиттер транзистора первого каскада. Это сопротивление для наиболее распространенной схемы включения транзистора — схемы с общим эмиттером — не превышает 500—1 000 *ом.*

Такое значение входного сопротивления позволяет подключать на вход транзисторных усилителей без согласующих устройств лишь такие источники звукового сигнала, которые обладают малым выходным сопротивлением (электродинамический микрофон и электромагнитный звукосниматель). Для повышения входного сопротивления в транзисторных усилителях используют схемы особого включения транзисторов, аналогичные катодному повторителю на электронных лампах. Такие схемы позволяют увеличить входное сопротивление транзисторного каскада до десятков и даже сотен тысяч ом.

Недостатком этих схем является то, что усиление по напряжению такого каскада меньше единицы.

Входное сопротивление усилителя зависит от частоты. Это происходит из-за наличия во входной цепи реактивных элементов, в простейшем случае это емкость сетка — катод лампы и паразитная емкость монтажа.

В паспортных данных обычно указывается значение входного сопротивления на частоте 1 000 *гц*.

Выходное сопротивление. Выходное сопротивление усилителя является одним из важных параметров усилителя, который в значительной степени определяет качество работы системы усилитель — акустический агрегат, особенно в области низших звуковых частот. Как известно, подвижная система (звуковая катушка и диффузор) электродинамического громкоговорителя представляет собой электромеханическую колебательную систему.

Если подвижная система громкоговорителя недостаточно задемпфирована, то при подаче на громкоговоритель электрического сигнала малой длительности подвижная система громкоговорителя приходит в колебание на собственной резонансной частоте. Эти колебания постепенно затухают после прекращения сигнала. Наличие этих колебаний создает различные «призвуки», которые искажают воспроизводимую звуковую программу.

Громкоговоритель, подключенный к выходу усилителя низкой частоты, оказывается демпфирован выходным сопротивлением усилителя. Это демпфирование тем сильнее, чем ниже выходное сопротивление усилителя. Действительно, при движении звуковой катушки в зазоре магнитной системы громкоговорителя в ней индуктируется э. д. с., причем направление ее противоположно направлению, приложенному к звуковой катушке напряжения.

Ток, вызванный этой э. д. с., взаимодействуя с полем постоянного магнита, создает силу, препятствующую перемещению катушки. Чем меньше выходное сопротивление усилителя, тем больше величина наведенного тока и тем большая сила торможения создается им.

Демпфирование громкоговорителя малым выходным сопротивлением усилителя уменьшает колебательные свойства подвижной системы, что приводит к повышению качества звучания громкоговорителя, особенно на резонансной частоте подвижной системы, на которой при малом демпфировании вносимые громкоговорителем искажения особенно велики.

Для оценки качества демпфирования громкоговорителя выходным сопротивлением усилителя $R_{вых}$ поль-

зуются понятием коэффициента демпфирования D (или фактора демпфирования):

$$D = \frac{R_{\text{нагр}}}{R_{\text{вых}}},$$

где $R_{\text{нагр}}$ — номинальное значение сопротивления нагрузки.

Иногда коэффициент демпфирования выражают в децибелах:

$$D = 20 \lg \frac{R_{\text{нагр}}}{R_{\text{вых}}}.$$

Чем больше коэффициент демпфирования, тем сильнее сказывается демпфирующее свойство выходного сопротивления. Величина выходного сопротивления зависит от схемы оконечного каскада и наличия в усилителе обратных связей. В усилителях без обратной связи наименьшее выходное сопротивление имеют усилители на триодах. В усилителях с обратной связью величина выходного сопротивления зависит от способа подачи и глубины отрицательной обратной связи. Чем больше глубина отрицательной обратной связи, тем меньше выходное сопротивление. Для усилителей с отрицательной обратной связью коэффициент демпфирования имеет значение 3—10 (10—20 *дб*), достигая в лучших образцах значения 30—50 (30—34 *дб*).

В том случае, когда сопротивление нагрузки больше выходного сопротивления усилителя, напряжение сигнала на выходе усилителя мало зависит от изменения величины нагрузки. Это особенно важно для трансляционных усилителей, так как громкость работы абонентских точек не должна зависеть от числа включенных точек.

Сопротивление электродинамического громкоговорителя в значительной степени зависит от частоты, изменяясь по величине в диапазоне звуковых частот в 6—8 раз. Изменение сопротивления громкоговорителя приводит к изменению сопротивления нагрузки оконечного каскада.

В случае использования в оконечном каскаде пентодов и лучевых тетродов (без обратной связи), это приводит к увеличению нелинейных искажений (иногда

в 1,5—2 раза). В усилителях с триодами в оконечном каскаде указанное явление проявляется менее заметно.

Использование различных видов обратной связи, а также специальных схем оконечных каскадов, например ультралинейной, позволяет уменьшить выходное со-

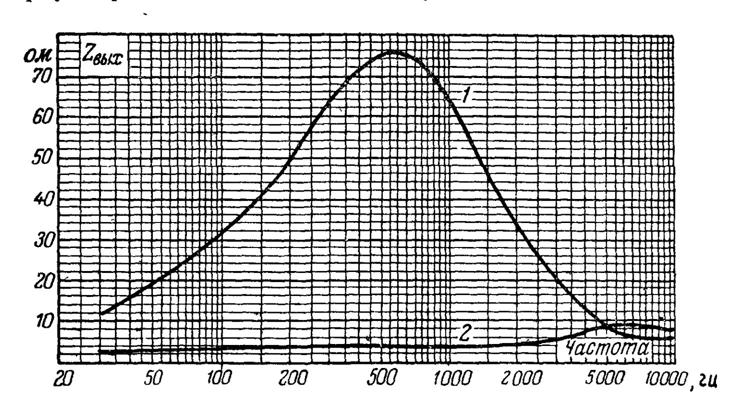


Рис. 8. Зависимость выходного сопротивления усилителя $Z_{вых}$ от частоты:

кривая *1* — усилитель без обратной связи; кривая *2* — тот же усилитель, но охваченный отрицательной обратной связью.

противление усилителя и ослабить указанные выше явления.

На рис. 8 приведен график зависимости выходного сопротивления усилителя низкой частоты от частоты при отсутствии отрицательной обратной связи (кривая *1*) и при наличии отрицательной обратной связи (кривая *2*).

Регулировка громкости. Регулятор громкости является обязательным элементом усилителя низкой частоты. Регуляторы громкости бывают ступенчатые и плавные, причем в усилителях низкой частоты, используемых в звуковоспроизводящих установках, используются, как правило, плавные ручные регуляторы громкости.

К регуляторам громкости предъявляются следующие требования:

1. Достаточная глубина регулировки.
2. Плавность регулировки.

3. Независимость частотной характеристики усилителя от положения регулятора (за исключением компенсированных регуляторов).

4. Минимум помех, вносимых регулятором (отсутствие шорохов и тресков при регулировке и фона переменного тока).

Под глубиной регулировки ручного регулятора громкости понимают отношение (выраженное в децибелах) максимального уровня напряжения к минимальному, получаемых на выходе регулятора громкости при двух крайних положениях регулятора. При этом за минимальное напряжение принимают величину напряжения, при котором сигнал еще прослушивается через громкоговоритель, включенный на выходе усилителя, но при дальнейшем уменьшении громкости сигнал скачком уменьшается до нуля.

В современных радиоприемниках пределы ручной регулировки громкости составляют 50—60 *дб* для радиоприемников первого и второго классов и 40 *дб* — для третьего класса.

Регулятор громкости служит для плавного изменения громкости. Как известно, человеческое ухо воспринимает как изменение громкости не изменение абсолютного значения звукового давления, а его относительное изменение. Другими словами, ухо чувствует не насколько изменяется давление, а во сколько раз оно становится больше или меньше. Одинаковое изменение громкости мы заметим и в том случае, когда звуковое давление изменится с 10 до 20 *бар* и когда оно меняется от 100 до 200 *бар*. При этом минимальное изменение громкости еще заметнее на слух происходит, когда давление изменяется на 12,2%, что соответствует изменению громкости на 1 *дб*.

Для того чтобы изменение громкости происходило плавно, необходимо, чтобы при регулировке обеспечивалось постоянство относительного изменения напряжения на выходе регулятора громкости. В том случае, когда регулировка громкости производится с помощью непроволочных потенциометров, необходимо использовать потенциометры с логарифмической зависимостью сопротивления от угла поворота (типа Б).

Существенной особенностью нашего слуха является то, что его чувствительность к звуковым колебаниям

различных частот зависит от уровня громкости. Характер восприятия нами отдельных частот при различной громкости показан на рис. 9. Из приведенных кривых (известных под названием кривых равных громкостей) видно, что при большой громкости (от 80 до 90 *дб* и выше) чувствительность уха примерно одинакова на разных частотах. По мере уменьшения уровня громкости

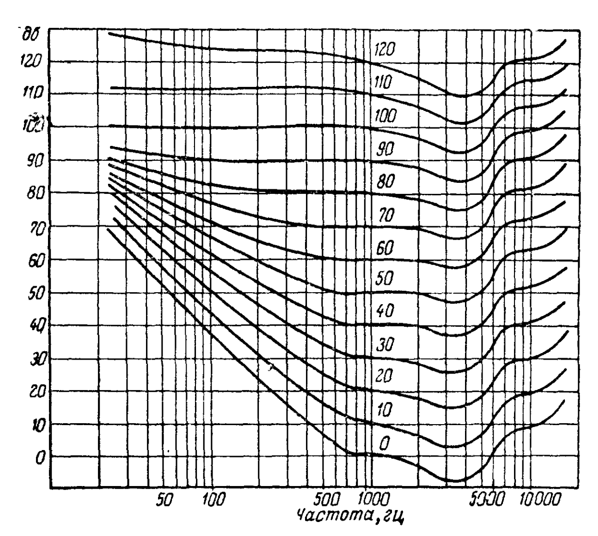


Рис. 9. Кривые равных громкостей.

чувствительность уха на низших и высших частотах заметно уменьшается. Так, например, из рис. 9 видно, что для восприятия колебаний с частотами 50 *гц*, 1 000 *гц* и 10 000 *гц* с одинаковой громкостью 20 *дб* необходимо, чтобы звуковое давление на частоте 50 *гц* было на 45 *дб*, а на частоте 10 000 *гц* на 10 *дб* больше, чем на частоте 1 000 *гц*. Если же звуковое давление будет одинаково на указанных выше частотах, то на слух колебания с частотами 50 *гц* и 10 000 *гц* окажутся ослабленными на 45 *дб* и 10 *дб* соответственно.

Поэтому, если мы слушаем звук при малой громкости, то мы не услышим значительную часть низкочастотных колебаний, что приводит к изменению тембра звука и ухудшению качества звучания.

Обычные регуляторы громкости одинаково ослабляют напряжение всех частот, поэтому неискаженное воспроизведение при применении этих регуляторов возможно лишь при одном определенном уровне, когда громкость воспроизведения равна громкости источника звука. Во всех остальных случаях естественность воспроизведения будет нарушаться.

Поэтому в высококачественных современных усилителях применяют так называемые компенсированные регуляторы громкости, которые одновременно с регулировкой громкости изменяют форму частотной характеристики усилителя в соответствии с кривыми равных громкостей или близко к ним.

Глава вторая

УСИЛИТЕЛИ НА ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМПАХ

ОСОБЕННОСТИ УСИЛИТЕЛЕЙ

За последние годы в усилителях низкой частоты нашло применение значительное число самых разнообразных схем. Однако модернизации подверглись лишь схемы регуляторов тембра, фазоинверторов и оконечных каскадов. Каскады предварительного усиления выполняются в основном по тем же схемам, что и 5—10 лет назад.

Схемы различных регуляторов тембра рассмотрены в описании каждого конкретного усилителя, поэтому в данном разделе мы рассмотрим лишь схемы фазоинверторов и выходных каскадов.

В усилителе, который описан на стр. 56—59, применен фазоинвертор с катодной связью. Для выяснения принципа работы фазоинвертора рассмотрим вначале упрощенную схему этого каскада, изображенную на рис. 10,*а*. Первый каскад, на вход которого поступает сигнал, выполнен по обычной схеме реостатного усилителя, а второй каскад выполнен по схеме усилителя с заземленной сеткой. Напряжение сигнала на второй каскад снимается с сопротивления в катоде лампы первого каскада и через переходной конденсатор подается в цепь катода лампы второго каскада. В анодную цепь триода каждого каскада включены нагрузочные сопро-

тивления, с которых снимаются равные по амплитуде, но противофазные напряжения.

Рассмотрим работу схемы. При положительной полуволне входного напряжения на сетке лампы $Л_1$ анодный ток лампы $Л_1$ увеличивается и на катодном сопротивлении появится напряжение сигнала также с положительной полярностью. Это положительное напряжение по-

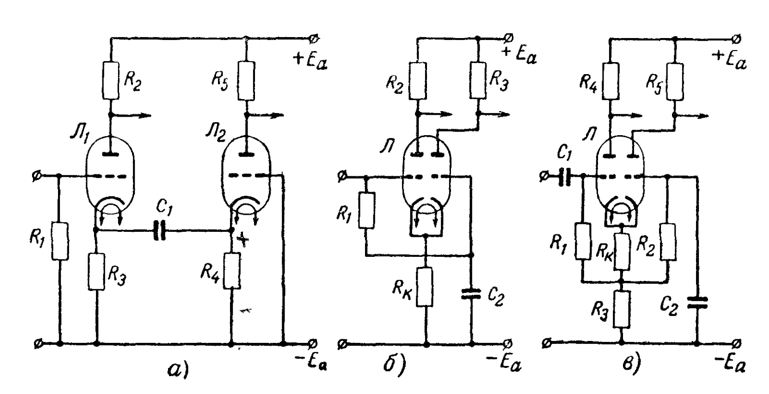


Рис. 10. Схема, поясняющая принцип работы фазоинвертора с катодной связью.

а — упрощенная схема; *б* — схема, используемая в усилителях с гальванической связью фазоинвертора с предыдущим каскадом; *в* — схема фазоинвергора с *R*—*С*-связью с предыдущим каскадом.

дается на катод лампы $Л_2$. Поскольку потенциал сетки лампы $Л_2$ равен нулю, то повышение положительного напряжения на катоде равносильно увеличению минуса на сетке лампы, поэтому анодный ток лампы $Л_2$ уменьшается.

Следовательно, анодные токи ламп изменяются в противофазе, поэтому напряжения на анодах ламп также будут противофазными.

Полная схема фазоинвертора (рис. 10,*б*) отличается от рассмотренной тем, что переходной конденсатор C_1 исключен, а сопротивления R_3 и R_4 заменены одним $R_к$. В том случае, когда сетка левого по схеме триода соединяется с анодом лампы предварительного усиления без переходного конденсатора, применяется схема, показанная на рис. 10,*б*. При наличии переходного конденсатора используется схема рис. 10,*в*. Напряжение смещения

ламп фазоинвертора в обеих схемах определяется величиной сопротивления R_k.

В оконечных каскадах (однотактных и двухтактных) широко используется схема так называемого ультралинейного усилителя. В ультралинейной схеме экранирующая сетка оконечной лампы (пентода или лучевого тетрода) присоединяется не к плюсу высокого напряжения, а к отводу от первичной обмотки выходного трансформатора.

В этом случае анодный ток лампы изменяется под действием как переменного напряжения на управляющей сетке, так и на экранирующей сетке. Это создает отрицательную обратную связь, значительно изменяющую свойства оконечного каскада. При правильном выборе отвода оконечный каскад имеет высокую чувствительность и развивает большую выходную мощность, что характерно для усилителей с пентодами и лучевыми тетродами, и вместе с тем каскад обладает малым внутренним сопротивлением, что характерно для усилителей на триодах.

Достоинством ультралинейной схемы является то, что она дает малые взаимномодуляционные искажения и устойчива в работе. Недостатком ультралинейной схемы является сложность изготовления выходного трансформатора, который должен быть высокого качества. Кроме этого, для питания анодных цепей ультралинейного усилителя требуется хорошо отфильтрованное напряжение. В противном случае схема вносит нелинейные искажения на высших частотах.

В усилителях на электронных лампах и транзисторах начинают применяться схемы усилителей без выходных трансформаторов. Стремление конструкторов исключить выходной трансформатор из схемы усилителя объясняется тем, что выходной трансформатор является основной причиной частотных и нелинейных искажений в усилителе и, кроме того, является довольно дорогостоящей в производстве деталью.

Выходной трансформатор ограничивает диапазон частот как со стороны низших, так и со стороны высших частот. Для расширения частотной характеристики в сторону низших частот требуется значительное увеличение индуктивности первичной обмотки трансформатора, однако при этом неизбежно возрастает индуктив-

ность рассеяния, ухудшающая частотную характеристику в области высших частот. Зависимость же величины магнитной проницаемости материала сердечника от величины тока через обмотки трансформатора приводит к нелинейным искажениям сигнала.

В усилителях без выходного трансформатора применяют ряд специальных схем.

Наибольшее распространение получила так называемая двухтактная последовательная схема оконечного каскада.

В обычной двухтактной схеме (рис. 11,*а*) нагрузка усилителя состоит из двух частей, включенных последовательно. В схеме на рис. 11,*в* части нагрузок включены параллельно и общее сопротивление нагрузки получается равным $R_н/4$. Так, если для лампы 6П14П в режиме *АВ* сопротивление нагрузки равно 8 *ком*, то при включении этой лампы по схеме на рис. 11,*в* сопротивление нагрузки получается равным 2 *ком*. Использование специальных ламп, например типа 6П18П, позволяет еще больше снизить сопротивление нагрузки (до 800 *ом*) и применять в качестве нагрузки громкоговорители с высокоомными звуковыми катушками.

При симметрии плеч схемы на рис. 11,*в* постоянная составляющая тока через нагрузку равна нулю, поэтому нагрузку подключают через разделительный конденсатор емкостью 20—100 *мкф*, как это показано на рис. 11,*д*. Достоинством этой схемы является также возможность использования источника питания без средней точки.

Все сказанное выше о ламповых усилителях целиком относится и к транзисторным усилителям, схемы которых приведены на этих же рисунках.

В усилителях на транзисторах находят применение схемы двухтактных каскадов, работающих без фазоинвертора и на нагрузку, имеющую всего два вывода. Это стало возможным лишь благодаря использованию транзисторов с проводимостью различного типа: *р-п-р* и *п-р-п*.

Основные отличия этих транзисторов друг от друга заключаются в следующем:

а) полярности напряжений на электродах, а следовательно, и полярности управляющих сигналов противоположны для одноименных электродов транзисторов *р-п-р* и *п-р-п*;

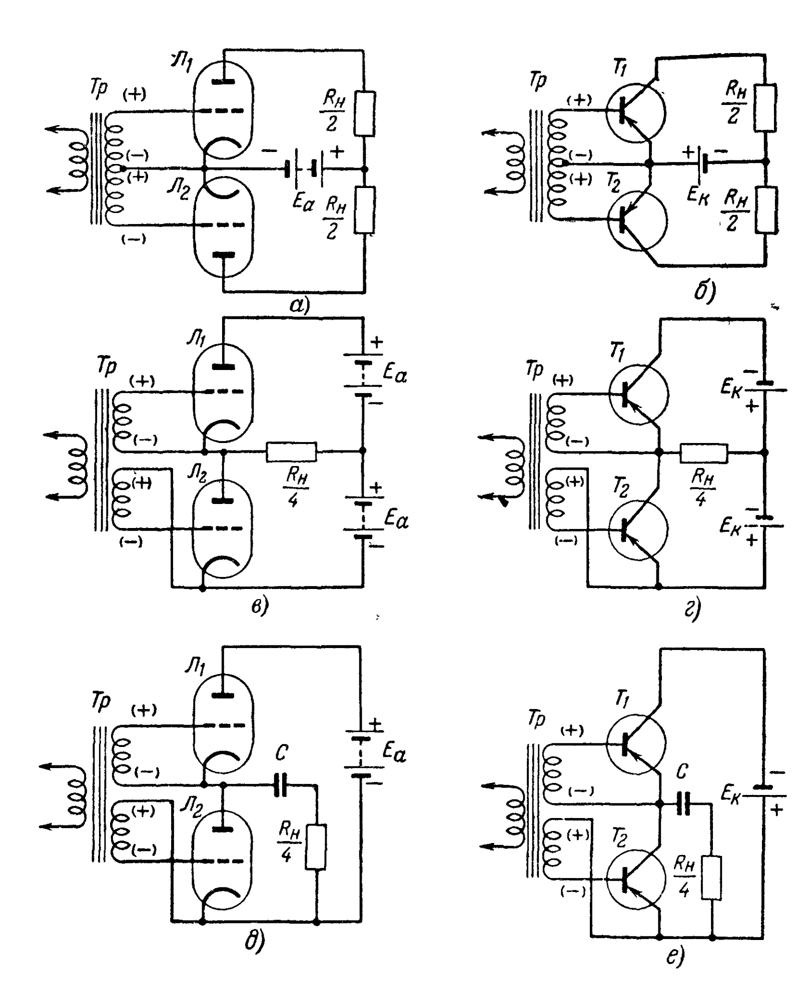


Рис. 11. Схема, поясняющая принцип работы двухтактного последовательного оконечного каскада.

а — обычная двухтактная схема на электронных лампах; *б* — то же на транзисторах; *в* — последовательная двухтактная схема с двумя источниками питания на электронных лампах; *г* — то же на транзисторах; *д* — последовательная двухтактная схема с одним источником питания:; *е* — то же на транзисторах.

б) при обычных нормальных режимах токи, протекающие через каждый электрод транзистора типа *р-п-р*, имеют противоположное направление относительно токов соответствующих электродов транзистора типа *п-р-п*.

Упрощенная схема двухтактного усилителя без фазоинвертора показана на рис. 12,*а* и *б*. При отсутствии входного сигнала через каждый транзистор протекает начальный постоянный ток. Из рис. 12,*а* нетрудно видеть, что эти токи протекают через нагрузку в противоположных направлениях и при симметрии схемы результирующий ток через нагрузку равен нулю.

При подаче на вход синусоидального напряжения усилитель работает следующим образом. При отрица-

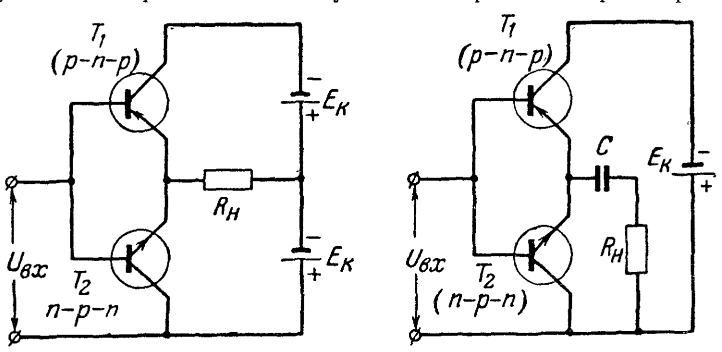


Рис. 12. Принцип работы двухтактного усиления с *n-p-n* и *p-n-p*-транзисторами.

а — с двумя источниками питания; *б* — с одним источником питания.

тельной полуволне синусоидального напряжения, поданного одновременно на базы обоих транзисторов, транзистор T_1 типа *p-n-p* открывается и ток от батареи $E_{к1}$ через него и через нагрузку начинает возрастать. Транзистор же T_2 типа *n-p-n* запирается отрицательной полуволной и ток через него уменьшается.

При положительной полуволне входного напряжения, наоборот, ток от батареи $E_{к2}$ протекает через транзистор T_2 и нагрузку, транзистор же T_1 оказывается запертым. Таким образом, при каждой полуволне входного синусоидального напряжения работает один из транзисторов. Поскольку постоянный ток через нагрузку не протекает, то, как и в схеме рис. 11,*д*, нагрузка может быть включена через разделительный конденсатор, как показано на рис. 12,*б*.

Одно из новых направлений в технике звуковоспроизведения и конструирования усилителей низкой частоты — создание стереофонической передачи звука. Под

стереофонической понимается такая передача звука, при которой, так же как и при непосредственном слушании естественных источников звука, мы можем представить себе расположение исполнителей в пространстве. Стереофоническая передача позволяет во время концерта без особого напряжения слуха ясно слышать звучание солистов, отдельных инструментов оркестра, голоса певцов хорового ансамбля. Кроме этого, при стереофонии значительно повышается точность воспроизведения инструментальных тембров и возможна передача большего динамического диапазона.

Способность человека определять месторасположение источников звука в пространстве носит название бинаурального эффекта. Бинауральный эффект обусловлен неодинаковым расположением в пространстве ушей человека по отношению к источнику звука. На частотах от 300 до 1 000 *гц* бинауральный, а следовательно, и стереофонический эффект определяется разностью фаз сигналов у правого и левого уха, а при более высоких частотах преобладающее влияние на стереофонический эффект оказывает различие в амплитудах и тембре.

Для передачи эффекта стереофонии в идеальном случае требуется, чтобы в пространстве, где воспроизводится звук, было такое же пространственное размещение и такое же количество источников звука, как и в том пространстве, где расположены оригинальные источники звука.

В настоящее время как в радиовещании, так и в грамзаписи используется двухканальная стереофония, т. е. передача стереофонического эффекта осуществляется с помощью всего двух каналов. Только в широкоэкранном кино применяется многоканальная стереофония.

Стереофонические граммофонные и магнитные записи воспроизводятся при помощи двухканальных усилителей низкой частоты с идентичными каналами.

Основное требование к двухканальным усилителям — полная идентичность усилителей как по коэффициенту усиления, так и по частотным характеристикам. Для этого регуляторы громкости в обоих каналах делают спаренными с тем, чтобы уровни громкости изменялись одновременно в обоих каналах. При этом для сохранения правильного впечатления о размещении источников

звука в пространстве необходимо, чтобы разница уровней не превышала ±2—3 *дб* при регулировке громкости от максимальной до уменьшенной на 20 *дб*.

Регуляторы тембра в стереоусилителях должны обеспечивать идентичность частотных характеристик обоих каналов при любых положениях регуляторов тембра. Разница частотных характеристик каналов стереоусилителей на любой частоте не должна превышать 2—3 *дб*.

Существенным элементом стереофонического усилителя является регулятор стереобаланса — регулятор, предназначенный для начальной регулировки громкости в обоих каналах. При отсутствии такого регулятора идентичность каналов может быть нарушена из-за различной чувствительности усилителей или, например, различной отдачи головок звукоснимателя. Как показала практика, совершенно достаточно иметь пределы регулировки стереобаланса на 12 *дб* (±6 *дб*), т. е. иметь возможность изменять усиление одного из каналов относительно другого в ±2 раза.

Выходная мощность каждого из каналов стереоусилителя выбирается равной 0,7—1 *вт* от выходной мощности обычного усилителя, рассчитанного на озвучивание данного помещения.

В стереоусилителе необходимо, чтобы величина переходного затухания (отношение напряжения полезного сигнала на выходе данного канала к напряжению сигнала, проникшему из другого канала) была бы не менее 30 *дб*, что достигается тщательной развязкой в цепях питания и экранировкой первых каскадов.

Для получения высококачественной стереофонии нелинейные и частотные искажения стереоусилителей должны быть не хуже, чем и у обычных высококачественных усилителей.

ПРОСТОЙ ДВУХЛАМПОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ*

Выходная мощность усилителя 3 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений на частоте 1 000 *гц* около 5%. Чувствительность усилителя 150 *мв*.

Усилитель выполнен на лампах 6Ж1П (1 шт.), 6П14П (1 шт.) и 6Ц4П (1 шт.).

---

* Усилители, схемы которых приведены на рис. 13, 14, 25, 31, 32, 38, 40, 42, 43, 44, 45, 47 и 49, разработаны автором.

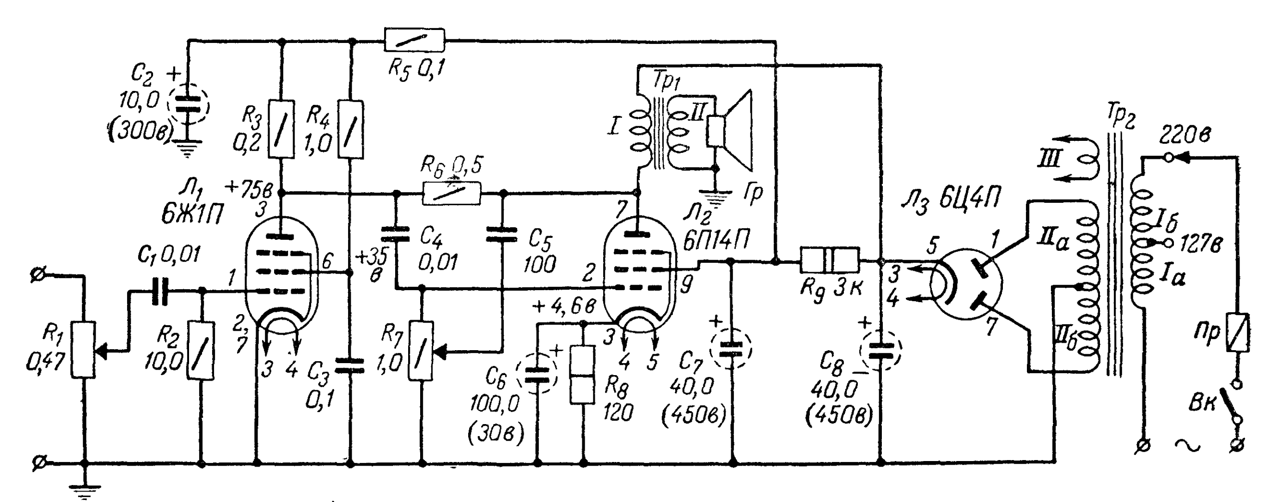


Рис. 13. Принципиальная схема простого двухлампового усилителя.

Схема (рис. 13). В первом каскаде используется пальчиковый пентод 6Ж1П, а в оконечном каскаде — пентод 6П14П. Для уменьшения уровня фона катод лампы $Л_1$ заземлен, а напряжение смещения на управляющей сетке лампы образуется за счет протекания сеточных токов по сопротивлению R_2, которое выбрано равным 10 *Мом*.

Питание анодной цепи и цепи экранирующей сетки лампы $Л_1$ производится через фильтр R_5C_2, что также снижает уровень фона.

Оконечный каскад выполнен по обычной схеме и охвачен параллельной частотно-зависимой отрицательной обратной связью. Напряжение обратной связи подается с анода оконечной лампы в цепь управляющей сетки этой лампы через сопротивление R_6 и конденсатор C_5. Когда движок потенциометра R_7 находится в нижнем по схеме положении, частотная характеристика имеет подъем на низших и высших частотах около 6 *дб*. По мере перемещения движка потенциометра вверх усиление усилителя на высших частотах уменьшается и в крайнем верхнем положении движка завал на частоте 10 000 *гц* достигает 15 *дб*.

Питание усилителя производится от двухполупериодного выпрямителя на лампе 6Ц4П. Фильтр выпрямителя состоит из конденсаторов C_7, C_8 и сопротивления R_9.

Детали. Выходной трансформатор выполнен на сердечнике из пластин Ш-16, толщина пакета пластин 16 *мм*. Первичная обмотка содержит 3 500 витков провода ПЭЛ 0,15, вторичная — 160 витков провода ПЭЛ 0,64 для громкоговорителя с сопротивлением 4 *ом*. Пластины трансформатора собраны в стык с зазором в 0,1 *мм*.

Силовой трансформатор выполнен на сердечнике из пластин Ш-25, толщина пакета пластин 25 *мм*. Сетевая обмотка имеет 1 760 витков с отводом от 1 000 витка и выполнена проводом ПЭЛ 0,25. Повышающая обмотка имеет 2×2 000 витков провода ПЭЛ 0,17, а обмотка *III* имеет 52 витка провода ПЭЛ 0,86.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ ДВУХЛАМПОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Выходная мощность усилителя 4 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 2,5%. Чувствительность усилителя — 100 *мв*. Усилитель имеет плавные раз-

дельные регуляторы тембра, диапазон регулировок регуляторов тембра на высших частотах (на частоте 10 *кгц*) и на низших частотах (на частоте 100 *гц*) равен ±15 *дб*.

Усилитель выполнен на пальчиковых лампах: 6Н2П (1 шт.) и 6П14П (1 шт.), 6Ц4П (1 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 14.

Усилитель имеет два каскада предварительного усиления и оконечный каскад. Напряжение сигнала через регулятор громкости R_1 поступает на сетку триода $Л_{1а}$.

Усиленное первым каскадом напряжение сигнала подается на сетку второго триода лампы 6Н2П. С анода этого триода напряжение сигнала подается на сетку лампы оконечного каскада, выполненного по обычной схеме. Между первым и вторым каскадами усилителя включен широкодиапазонный регулятор тембра. Регулировка тембра в области низших частот производится потенциометром R_5, а в области высших частот потенциометром R_7.

Последние два каскада усилителя охвачены отрицательной обратной связью. Напряжение обратной связи подается со вторичной обмотки выходного трансформатора через сопротивление R_{16} в цепь катода лампы $Л_{1б}$.

Питание усилителя производится от двухполупериодного выпрямителя на лампе 6Ц4П. Фильтр выпрямителя состоит из конденсаторов C_8, C_{12} и сопротивления R_{15}.

Детали. Выходной трансформатор выполнен на сердечнике сечением 5 *см*². Первичная обмотка содержит 3 000 витков провода ПЭЛ 0,25, вторичная — 74 витка провода ПЭЛ 0,86 (для громкоговорителя с сопротивлением 3 *ом* — 3ГД-2). Пластины трансформатора собраны в стык с зазором 0,1 *мм*.

Силовой трансформатор $Тр_2$ выполнен на сердечнике из пластин Ш-25 при толщине пакета пластин 25 *мм*. Сетевая обмотка *I* содержит 1 760 витков провода ПЭЛ 0,25 с отводом от 1 000 витка. Повышающая обмотка *II* содержит 2×2 000 витков провода ПЭЛ 0,17, а обмотки накала ламп имеют по 52 витка провода ПЭЛ 0,86.

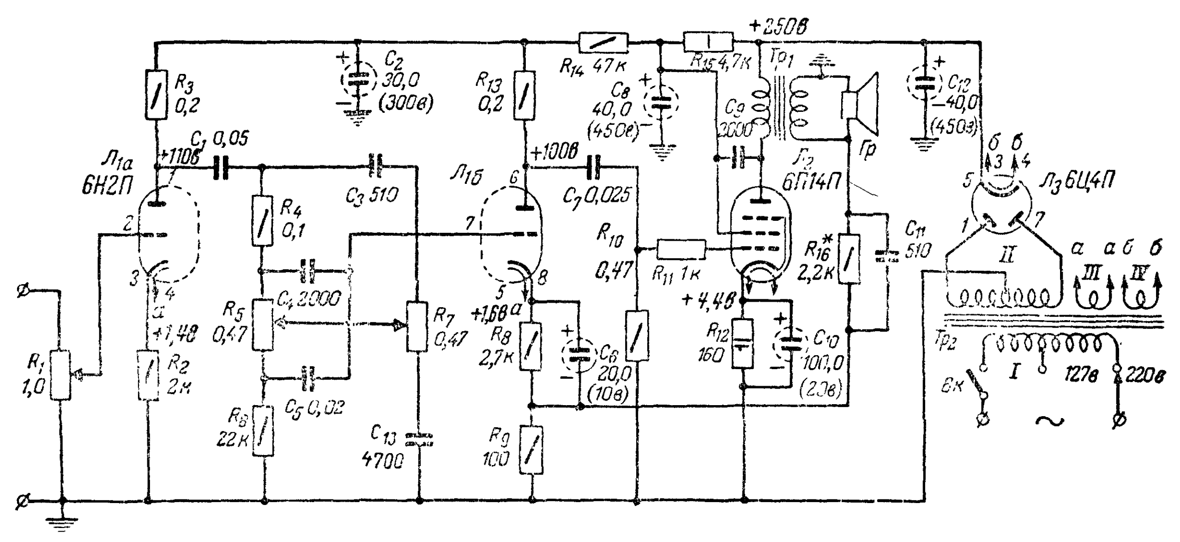


Рис. 14. Принципиальная схема высококачественного двухлампового усилителя.

ДВУХЛАМПОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С ШИРОКОДИАПАЗОННЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ТЕМБРА

(Радио, 1959, № 7, стр. 49)

Выходная мощность усилителя 3,5 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 5%. Чувствительность усилителя 120 *мв*. Полоса пропускания усилителя 30—15 000 *гц*. Усилитель имеет раздельные плавные регуляторы тембра, позволяющие в очень широких пределах регулировать его частотную характеристику.

В области низших частот (на частоте 60 *гц*) диапазон регулировок равен +35—20 *дб*, а в области высших частот (на частоте 8 000 *гц*) +15—20 *дб*.

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 15. Усилитель имеет два каскада предварительного усиления на лампе 6Н2П и оконечный каскад на лампе 6П14П.

Для улучшения качества звучания полоса частот, воспроизводимых усилителем, на выходе усилителя разделяется. Низшие и средние частоты воспроизводятся громкоговорителем $Гр_1$, высшие частоты воспроизводятся громкоговорителями $Гр_2$ и $Гр_3$. Выходной трансформатор канала высших частот подключен к аноду выходной лампы через разделительный конденсатор C_{13}.

Регулировка тембра в усилителе осуществляется по следующему принципу: с помощью специального фильтра (типа двойной Т-мост), включенного между каскадами, ослабляются средние звуковые частоты (500—2 000 *гц*). Это приводит к подъему частотной характеристики усилителя на крайних частотах. С помощью же регуляторов тембра можно производить как подъем, так и завал частотной характеристики на крайних частотах.

Двойной Т-мост включен между лампами $Л_{1б}$ и $Л_2$ и состоит из элементов $C_9C_{10}C_{15}R_{13}R_{14}R_{15}R_{16}$. Регуляторы тембра включены между первым и вторым каскадами усилителя, в цепи отрицательной обратной связи. Регулировка тембра в области низших частот осуществляется потенциометром R_6, а в области высших частот — потенциометром R_7.

В нижнем по схеме положении движка потенциометра R_6 напряжение отрицательной обратной связи мало, так как напряжение отрицательной обратной связи из анода лампы $Л_{1б}$ подается в цепь сетки этой лампы

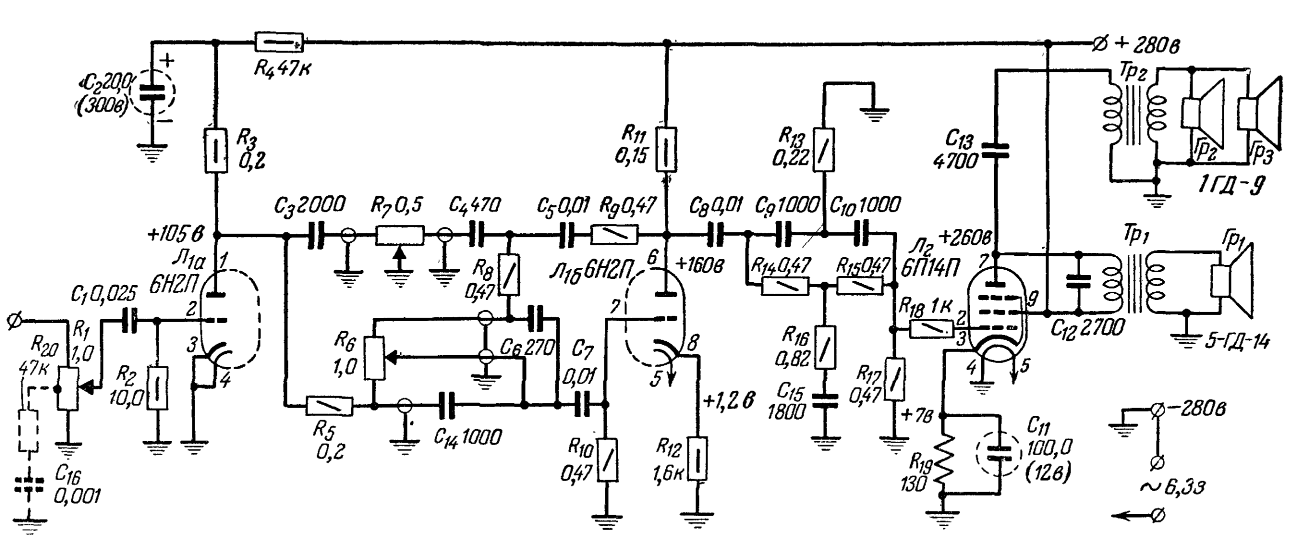


Рис. 15. Принципиальная схема двухлампового усилителя с широко диапазонным регулятором тембра.

через цепочку $R_9C_5R_8R_6C_{14}$. Сопротивление этой цепочки на низших частотах велико, и обратная связь будет незначительна, поэтому частотная характеристика усилителя имеет подъем на низших частотах.

При перемещении движка потенциометра R_6 вверх напряжение обратной связи на низших частотах возрастает, что приводит к ослаблению усиления на этих частотах.

В крайнем правом (по схеме) положении движка потенциометра R_7 напряжение отрицательной обратной связи в цепь сетки снимается с делителя, нижним плечом которого является конденсатор C_4, а верхним — последовательно включенные сопротивления R_9 и конденсатор C_5. Напряжение, снимаемое с конденсатора C_4 (напряжение обратной связи), будет тем меньше, чем выше частота, поэтому обратная связь на высших частотах оказывается незначительной. Частотная характеристика усилителя при этом имеет подъем на высших частотах.

В другом крайнем положении движка потенциометра R_7 (левом по схеме) частотная характеристика усилителя имеет завал на высших частотах, так как анод лампы $Л_{1а}$ оказывается заземленным через конденсатор C_3, ослабляющий высшие частоты. Кроме этого, при этом возрастает напряжение обратной связи, поступающее из анодной цепи лампы $Л_{1б}$ в цепь ее сетки, так оно снимается с делителя, нижнее плечо которого состоит из цепочки R_7C_4, а верхнее — C_5R_9.

Питать усилитель можно от любого выпрямителя, обеспечивающего выпрямленное напряжение 250—280 *в* при токе до 60 *ма* и напряжение для накала ламп.

Детали. Громкоговоритель $Гр_1$ типа 5ГД-14, а громкоговорители $Гр_2$ и $Гр_3$ типа 1ГД-9. В качестве трансформатора $Тр_1$ применен низкочастотный выходной трансформатор от радиоприемника «Октава». Для громкоговорителя 5ГД-14 число витков вторичной обмотки трансформатора уменьшается с 90 до 65.

Выходной трансформатор можно выполнить самостоятельно на сердечнике из пластин УШ-16, при толщине пакета пластин 24 *мм*. Первичная обмотка наматывается проводом ПЭЛ 0,12 и содержит 2 600 витков, а вторичная обмотка наматывается проводом ПЭЛ 0,64 и содержит 65 витков.

Трансформатор Tp_2 — высокочастотный трансформатор от радиоприемника «Октава». При самостоятельном изготовлении трансформатор Tp_2 выполняется на сердечнике из пластин УШ-9 при толщине пакета пластин 12 *мм*. Первичная обмотка *1* наматывается проводом ПЭЛ 0,12 и содержит 2 000 витков, вторичная обмотка наматывается проводом ПЭЛ 0,51 и содержит 28 витков.

Пластины выходного трансформатора Tp_1 собираются в стык с зазором 0,1 *мм* из бумажной прокладки, пластины трансформатора Tp_2 собираются вперекрышку.

УСИЛИТЕЛЬ С КЛАВИШНЫМ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕМ ТЕМБРА

(«Радио», 1958, № 8, стр. 43)

Особенностью усилителя является то, что изменение частотной характеристики усилителя для обеспечения наилучшего воспроизведения каждой отдельной программы («Речь, «Соло», «Джаз» и т. д.) производится с помощью клавишного переключателя (тон-регистра). Это значительно упрощает эксплуатацию описываемого усилителя.

Выходная мощность усилителя равна 2 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 2,5%, при выходной мощности 5,5 *вт* нелинейные искажения увеличиваются до 6%. Чувствительность усилителя 100 *мв*. Полоса пропускания усилителя равна 30—12 000 *гц*. С помощью тон-регистра частотная характеристика усилителя в зависимости от рода передачи обеспечивает регулировку в пределах +2—20 *дб* в области низших частот и 0—10 *дб* в области высших частот.

Кроме этого, в усилителе имеются плавные раздельные регуляторы тембра, с помощью которых можно регулировать частотную характеристику усилителя примерно на 6 *дб*. Усилитель выполнен на лампах 6Н2П и 6П14П.

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 16. Усилитель имеет два каскада предварительного усиления на лампе типа 6Н2П и оконечный каскад на лампе 6П14П, выполненный по ультралинейной схеме.

Для улучшения качества звучания полоса воспроизводимых усилителем частот на выходе усилителя разде-

ляется на два канала. Трансформатор $Тр_1$ является выходным трансформатором канала низших частот, а трансформатор $Тр_2$ канала высших частот включен через конденсатор C_{16}. Для снижения нелинейных искажений усилитель охвачен отрицательной обратной связью, напряжение которой подается с вторичной об-

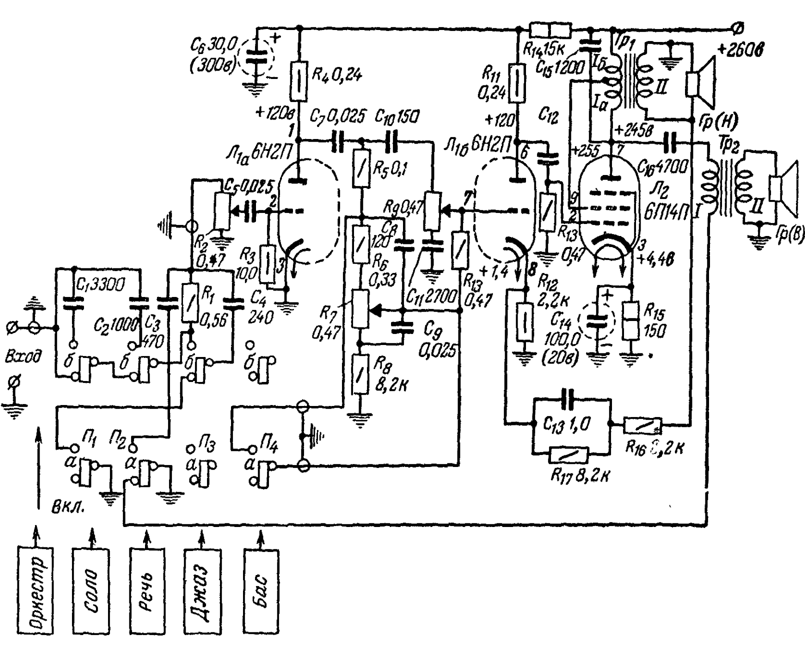


Рис. 16. Принципиальная схема усилителя с клавишным регулятором тембра.

мотки выходного трансформатора $Тр_1$ в цепь катода лампы $Л_{1б}$ через цепочку $R_{16}R_{17}C_{13}$.

Элементы коррекции частотной характеристики усилителя с помощью тон-регистра включены во входной цепи, а плавные регуляторы тембра включены между первым и вторым каскадами усилителя.

Переключатель частотной характеристики (клавишного или кнопочного типа) имеет пять положений: «Оркестр», «Соло», «Речь», «Джаз» и «Бас». При нажатии клавиши «Оркестр» контакты всех клавишей будут находиться в положении, показанном на принципиаль-

ной схеме. В этом случае сигнал со входа поступает на сетку первого каскада минуя цепи тон-регистра. Частотная характеристика усилителя при этом изображена на рис. 17 кривой *1*.

В положении «Соло» напряжение сигнала поступает на сетку первого каскада через цепочку $R_1C_1R_2C_4$. В этом случае происходит ослабление усиления на низших ча-

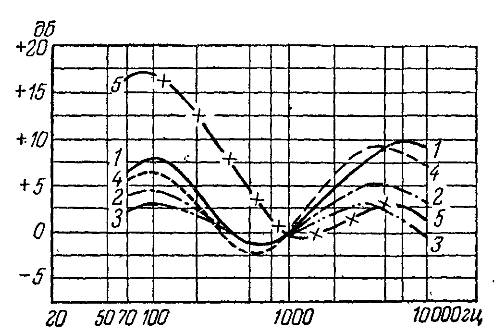


Рис. 17. Частотные характеристики усилителя с клавишным регулятором тембра.

стотах и подъем усиления на частоте около 4 *кгц* (кривая *2*), что позволяет несколько подчеркнуть звучание солирующего инструмента или певца.

При включении клавиши «Речь» полоса воспроизводимых частот уменьшается как со стороны низших, так и высших частот (кривая *3*). Первое создается за счет цепочки $C_3R_1R_2$ во входной цепи, а второе за счет отключения контактами *а* громкоговорителей высших частот.

В положении «Джаз» частотная характеристика в области низших частот почти совпадает с характеристикой в положении «Оркестр», а частотная характеристика в области высших частот имеет подъем на частотах 3—4 *кгц* (кривая *4*). При нажатии клавиши «Бас» частотная характеристика усилителя имеет подъем на 18 *дб* на частоте 100 *гц* (кривая *5*). Этот подъем создается за счет замыкания конденсатора C_8 цепочки регулятора тембра низших частот.

Подъем на низших частотах создает благоприятные условия для воспроизведения грамзаписи.

Детали. Выходной низкочастотный трансформатор $Тр_1$ выполнен на сердечнике из пластин УШ-19, толщина пакета пластин 28 *мм*. Пластины трансформатора собраны в стык с прокладкой из бумаги толщиной 0,12 *мм*. Обмотка *I а* имеет 2 000 витков, а обмотка *I б* — 600 витков провода ПЭЛ 0,12; обмотка *II* — 94 витка провода ПЭЛ 0,64 (рассчитана на подключение двух громкоговорителей 2ГД-3, включенных последовательно).

Высокочастотный трансформатор $Тр_2$ выполнен на сердечнике из пластин УШ-12, толщина пакета пластин 12 *мм*. Пластины трансформатора собираются вперекрышку. Обмотка *I* имеет 2 000 витков провода ПЭЛ 0,12, а обмотка *II* имеет 32 витка ПЭЛ 0,51 (рассчитана на подключение двух громкоговорителей 1ГД-9, включенных параллельно).

ПРОСТОЙ ДВУХТАКТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

(«Радио», 1958, № 8, стр. 45)

Выходная мощность усилителя равна 6 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 5%. Чувствительность усилителя 200 *мв*. Усилитель рассчитан на воспроизведение полосы частот от 20 до 10 000 *гц* и имеет раздельные плавные регуляторы тембра. Диапазон регулировок на нижних частотах (на частоте 50 *гц*) равен ±6 *дб*, а на высших частотах (на частоте 5 000 *гц*) — 20 до +6 *дб*. Усилитель прост по схеме и выполнен всего на трех пальчиковых лампах 6Н2П и 6П14П (2 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 18. Усилитель имеет один каскад предварительного усиления, фазоинвертор и оконечный двухтактный каскад.

Напряжение сигнала через регуляторы тембра и регулятор громкости поступает на сетку левого по схеме триода лампы $Л_1$. Усиленное первым каскадом напряжение сигнала поступает на сетку одного плеча выходного каскада — лампу $Л_3$. С сопротивления R_{11}, которое является частью сопротивления утечки лампы $Л_3$, напряжение сигнала поступает на сетку другого триода лампы $Л_2$ (правого по схеме). С анода этого триода напряжение сигнала, повернутое на 180° относительно напряжения на сетке триода, подается на сетку лампы другого плеча оконечного каскада — лампу $Л_2$.

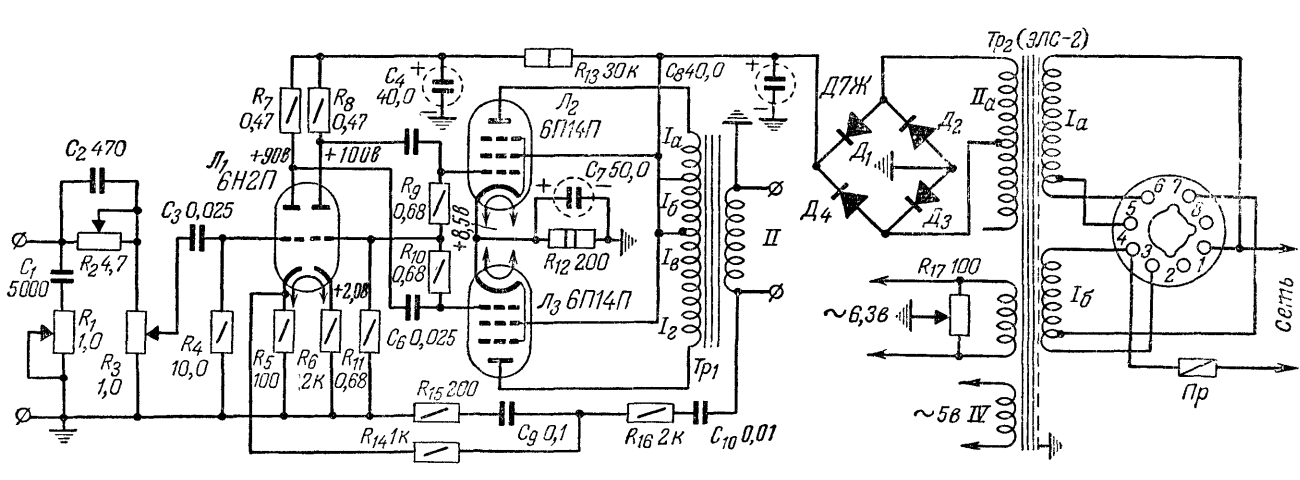


Рис. 18. Принципиальная схема простого двухтактного усилителя.

Регулировка тембра в усилителе осуществляется следующим образом: с помощью частотно-зависимой отрицательной обратной связи в усилителе создаются подъемы на крайних частотах. С помощью регуляторов тембра можно ослаблять эти подъемы. Напряжение обратной связи подается с вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$ в цепь катода триода каскада предварительного усиления, через цепь $R_{14}R_{15}R_{16}C_9C_{10}$.

Регулятор тембра высших частот состоит из конденсатора C_1 и потенциометра R_1. В верхнем по схеме положении движка потенциометра, когда движок потенциометра R_1 (регулятор тембра высших частот) находится в нижнем, а движок потенциометра R_2 (регулятор тембра низких частот) в левом по схеме положении, частотная характеристика имеет подъемы на крайних частотах. При других крайних положениях движков этих потенциометров частотная характеристика имеет завалы на крайних частотах. Питание усилителя осуществляется от выпрямителя, выполненного на диодах типа Д7Ж. Для уменьшения уровня фона накал ламп заземлен через среднюю точку потенциометра R_{17}.

Фильтр выпрямителя состоит из конденсаторов C_4, C_8 и сопротивления R_{13}. Напряжение питания на оконечный каскад подается с первого конденсатора фильтра C_8.

Конструкция. Усилитель смонтирован на шасси размерами 50×120×200 *мм*, изготовленном из дюралюминия толщиной 3 *мм*. Расположение деталей на шасси усилителя видно из рис. 19.

Детали. Выходной трансформатор $Тр_1$ выполнен на сердечнике из пластин УШ-19, толщина пакета пластин 25 *мм*. Пластины сердечника трансформатора собираются вперекрышку. Первичная обмотка трансформатора $Тр_1$ имеет 3 000 витков с отводом от середины, намотанных проводом ПЭЛ 0,16. Вторичная обмотка *II* (рассчитана на подключение двух параллельно соединенных громкоговорителей типа 5ГД-14) имеет 46 витков провода ПЭЛ 1,2. Вместо указанного трансформатора можно применить выходной трансформатор от радиоприемника «Фестиваль», «Люкс» или «Дружба».

Силовой трансформатор $Тр_2$ — типа ЭЛС-2, у которого для питания анодных цепей используется одна половина повышающей обмотки. Можно также использовать

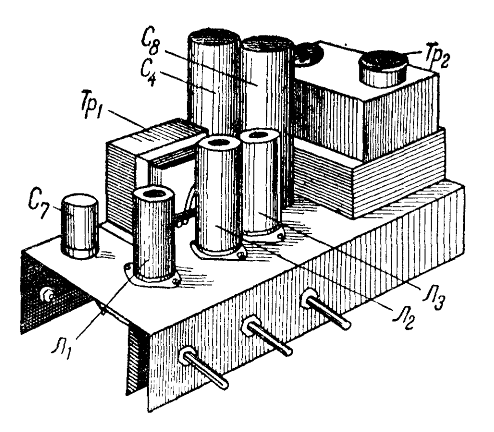


Рис. 19. Конструкция простого двухтактного усилителя.

силовые трансформаторы от указанных выше радиоприемников, причем в этом случае диоды типа Д7Ж можно заменить селеновым выпрямителем типа АВС-120-270.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НА 8 *вт*

(«Радио», 1957, № 5, стр. 50)

Выходная мощность усилителя 8 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений на средних частотах не более 1%. Чувствительность усилителя 250 *мв*. Усилитель воспроизводит полосу частот от 30 *гц* до 30 *кгц* и имеет раздельные регулировки тембра. Диапазон регулировок тембра в области низших частот (на частоте 30 *гц*) составляет ±18 *дб*, а в области высших частот (на частоте 10 *кгц*) ±16 *дб*. Усилитель выполнен на четырех пальчиковых радиолампах 6Н1П, 6Н2П и 6П1П (2 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя показана на рис. 20. Первый каскад усилителя выполнен на одном триоде лампы 6Н2П. Между первым и вторым каскадами включены элементы регулировки тембра. Регулировка в области высших частот осуществляется потенциометром R_4. При перемещении движка этого потенциометра вверх происходит подъем высших частот, которые поступают на вход второго каскада через конденсатор C_2. Перемещение движка этого потенциометра

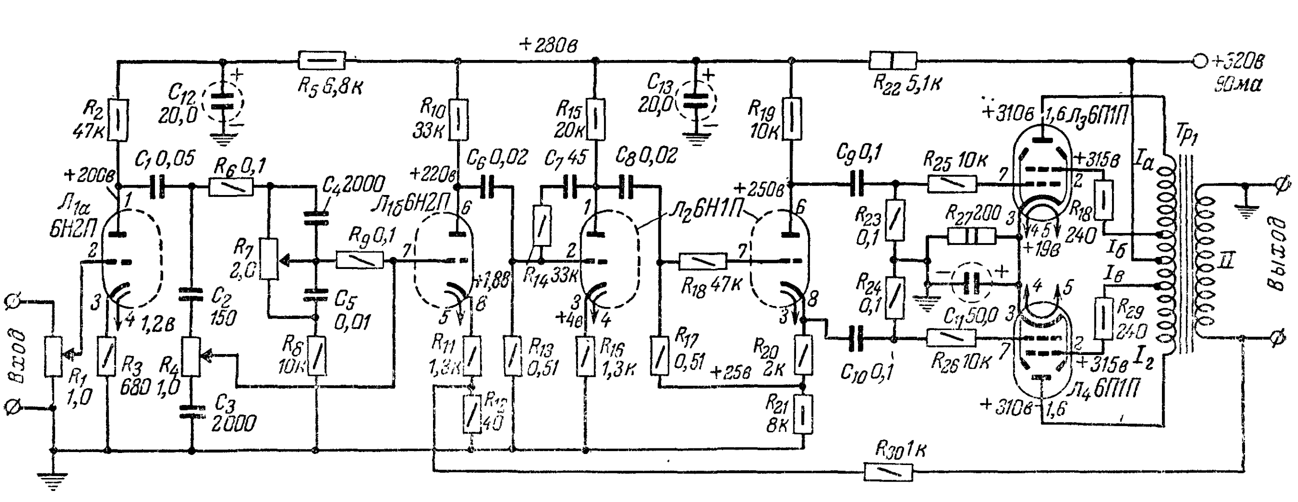


Рис. 20. Принципиальная схема высококачественного усилителя на 8 *вт*.

вниз приводит к ослаблению высших частот, так как высшие частоты при этом будут замыкаться через конденсатор C_3. Регулировка тембра в области низших частот производится потенциометром R_7. При перемещении движка этого потенциометра вверх происходит подъем, а при перемещении вниз — завал низших частот.

Частотные характеристики усилителя при трех положениях регуляторов тембра показаны на рис. 21.

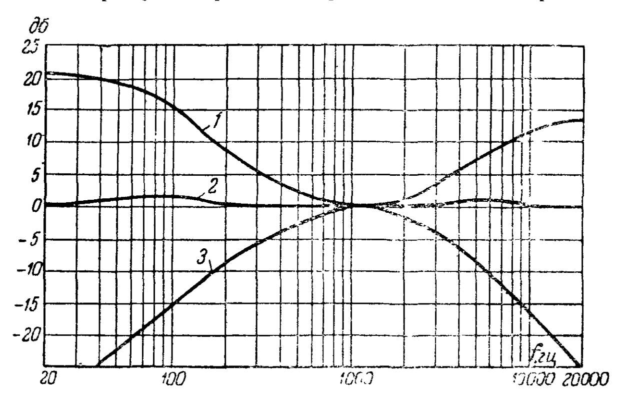


Рис. 21. Частотные характеристики высококачественного усилителя на 8 *вт*.

Третий каскад выполнен на одном триоде лампы 6Н1П, второй триод выполняет роль фазоинвертора.

Оконечный каскад выполнен по ультралинейной схеме на лампах 6П1П. Для уменьшения искажений и фона переменного тока в усилителе имеется несколько цепей отрицательной обратной связи. Напряжение основной цепи обратной связи подается со вторичной обмотки выходного трансформатора в цепь катода триода второго каскада. Кроме того, все предварительные каскады охвачены отрицательной обратной связью благодаря отсутствию блокировочных конденсаторов в цепях катодов ламп этих каскадов. Для предотвращения самовозбуждения на сверхзвуковых частотах в третьем каскаде введена отрицательная обратная связь из анодной цепи лампы $Л_{2а}$ в цепь сетки этой лампы. Чувствительность усилителя можно увеличить за счет некоторого увеличения нелинейных искажений и уровня фона.

Для того чтобы повысить чувствительность усилителя для работы с микрофона, необходимо параллельно сопротивлениям R_3, R_{11} и R_{16} включить электролитические конденсаторы емкостью 10—20 *мкф* на рабочее напряжение 5—10 *в*.

Питание усилителя может производиться от любого выпрямителя, обеспечивающего напряжение 320 *в* при

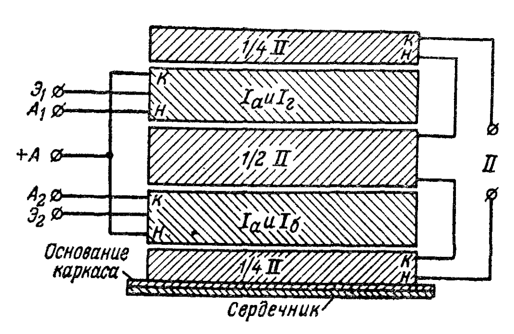


Рис. 22. Схема расположения обмоток выходного трансформатора высококачественного усилителя на 8 *вт*.

токе 90 *ма*. При питании усилителя напряжением 250 *в* нелинейные искажения при выходной мощности 8 *вт* составляют 5%.

Конструкция и детали. Выходной трансторматор $Тр_1$ выполнен на сердечнике из пластин Ш-22 при толщине пакета пластин 30 *мм*.

Первичная обмотка выполнена проводов ПЭЛ 0,17 и имеет следующие данные: секции *1а* и *1г* имеют по 900 витков, а секции *1б* и *1в* имеют по 600 витков. Вторичная обмотка имеет 92 витка провода ПЭЛ 0,86 и рассчитана на включение нагрузки сопротивлением 8 *ом*. Для уменьшения индуктивности рассеивания обмотки выходного трансформатора располагаются так, как показано на рис. 22.

УСИЛИТЕЛЬ НА 12 *вт*

(«Радио», 1958, № 4, стр. 26)

Выходная мощность усилителя равна 12 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений 0,8—1,2%. Чувствительность усилителя 100 *мв*, частотная характеристика

достаточно равномерна в диапазоне частот от 20—30 *гц* до 18—20 *кгц*. В усилителе имеется широкодиапазонная раздельная регулировка тембра. Диапазон регулировок в области низших частот (на частоте 20 *гц*) составляет ±20 *дб*, а в области высших частот (на частоте 10 *кгц*) — не менее ±15 *дб*. Усилитель выполнен на радиолампах 6Н1П, 6Ж3П, 6П14П (2 шт.) и 5Ц3С.

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 23. Регулировка громкости производится на входе усилителя сдвоенным потенциометром R_1, R_3. Такая схема обеспечивает компенсированную регулировку громкости.

Первый каскад усилителя выполнен на левом (по схеме) триоде лампы 6Н1П и охвачен отрицательной обратной связью через цепочку R_6C_3. Второй каскад усилителя также выполнен на правом триоде (по схеме) лампы 6Н1П.

Второй каскад охвачен глубокой отрицательной частотно-зависимой обратной связью, с помощью которой производится регулировка тембра. Напряжение обратной связи подается на анодной цепи в цепь сетки лампы второго каскада через цепи регулировки тембра высших и низших частот. При среднем положении потенциометров R_{10} (регулятор тембра низших частот) и R_{13} (регулятор тембра высших частот) частотная характеристика усилителя равномерна в широком диапазоне частот. При перемещении движков потенциометров изменяется глубина обратной связи на высших или низших частотах, а следовательно, и усиление усилителя на этих частотах. Частотные характеристики усилителя при различных положениях регуляторов тембра показаны на рис. 24.

Третий каскад выполнен на пентоде типа 6Ж3П, а четвертый — фазоинвертор — на лампе 6Н1П.

Отсутствие переходной *RC*-цепи между анодом лампы $Л_2$ и входом фазоинвертора уменьшает частотные искажения на низших частотах и улучшает фазовую характеристику усилителя. Это позволяет охватить усилитель отрицательной обратной связью глубиной 25 *дб*. Напряжение отрицательной обратной связи подается с обмотки *II* выходного трансформатора в цепь катода лампы третьего каскада через сопротивление R_{22}. Фазоинвертор выполнен по схеме с катодной связью, которая обеспечивает высокую симметрию выходных напряжений

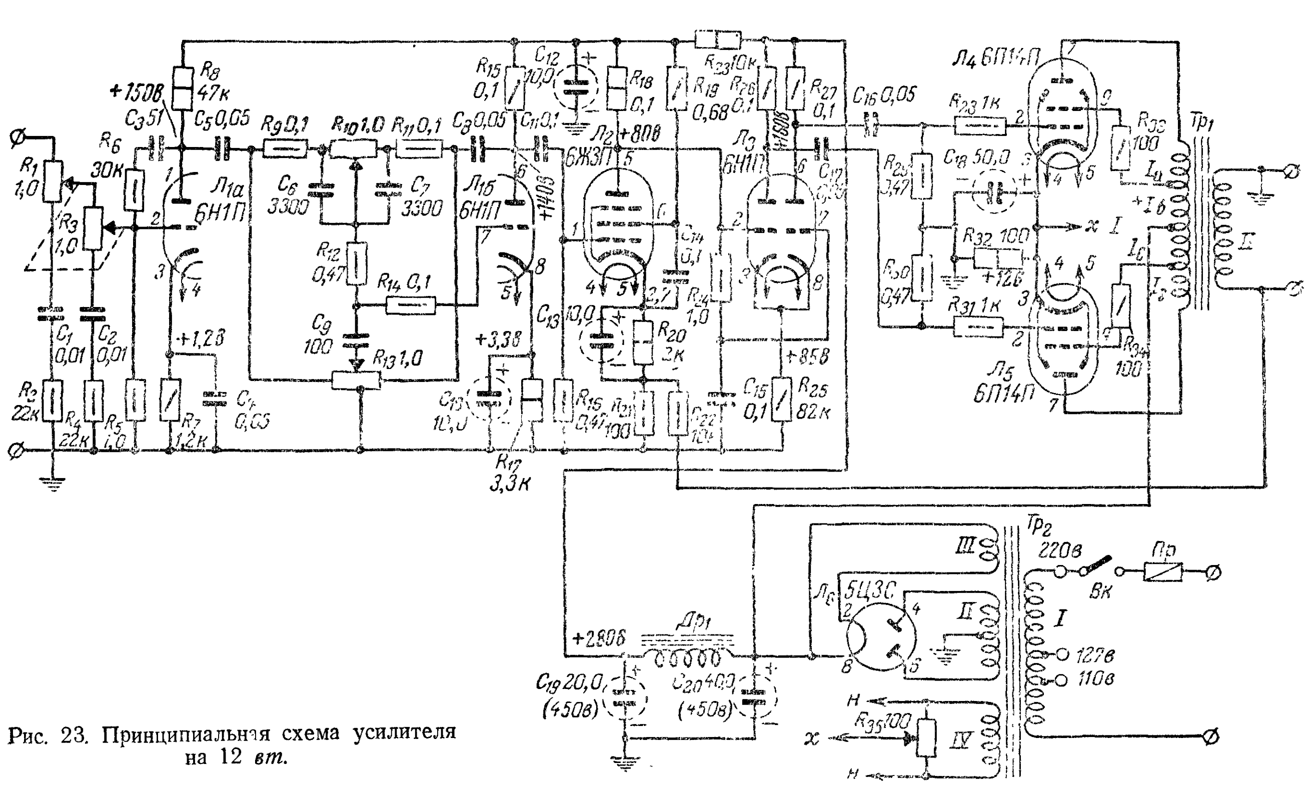


Рис. 23. Принципиальная схема усилителя на 12 *вт.*

в широком диапазоне частот и большое выходное напряжение.

Оконечный каскад выполнен по ультралинейной схеме на лампах 6П14П. Питание усилителя осуществляется от двухполупериодного выпрямителя на лампе 5Ц3С.

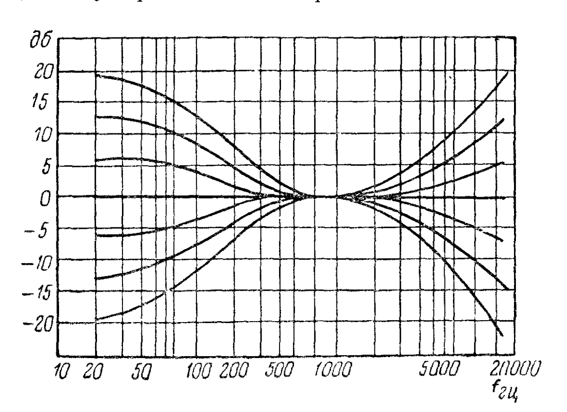


Рис. 24. Частотные характеристики усилителя на 12 *вт*.

Конструкция. Усилитель выполнен на шасси размерами 50×150×210 *мм*, которое можно выполнить из листового дюралюминия толщиной 2,5 *мм*.

Детали. Выходной трансформатор $Тр_1$ собран на сердечнике из пластин Ш-25 при толщине пакета пластин 40 *мм*. Первичная обмотка намотана проводом ПЭЛ-0,18 и имеет следующие данные: секции *1а* и *1г* содержат по 1 600 витков, а секции *1б* и *1в* содержат по 400 витков.

Вторичная обмотка рассчитана на нагрузку 3,5 *ом* и содержит 100 витков провода ПЭЛ 1,0.

Силовой трансформатор $Тр_2$ собран на сердечнике из пластин Ш-25, толщина пакета пластин 70 *мм*. Обмотка *I* содержит 350+50+300 витков (считая от нижнего по схеме вывода) провода ПЭЛ 0,55. Обмотка *II* содержит 2×950 витков провода ПЭЛ 0,22; обмотка *III* содержит 16 витков провода ПЭЛ 0,8 и обмотка *IV* — 20 витков провода ПЭЛ 1,0. Дроссель фильтра $Др_1$ собран на сердечнике из пластин Ш-18 и толщине пакета пластин 20 *мм*. Пластины дросселя собирают в стык с зазором 0,12 *мм*. Обмотку дросселя наматывают до заполнения каркаса проводом ПЭЛ-1-0,18.

УСИЛИТЕЛЬ НА 15 *вт*

(*«Радио», 1959, № 7, стр. 49*)

Выходная мощность усилителя равна 15 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не выше 2,5% на средних частотах и не выше 4% на крайних частотах полосы пропускания. Чувствительность усилителя

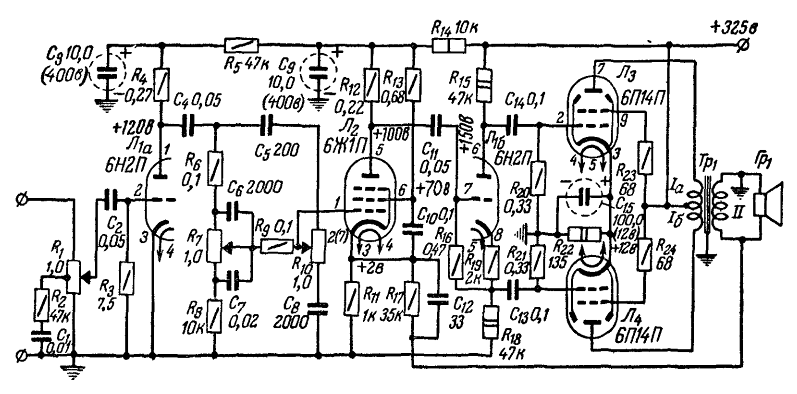


Рис. 25. Принципиальная схема усилителя на 15 *вт.*

100 *мв.* Усилитель имеет раздельные плавные регуляторы тембра, позволяющие изменять усиление усилителя на частоте 50 *гц* на ±20 *дб* и на частоте 10 *кгц* не менее чем на ±12 *дб.*

В среднем положении регуляторов тембра частотная характеристика усилителя равномерна в полосе частот от 20 *гц* до 30 *кгц*. Усилитель выполнен на четырех пальчиковых лампах типа 6Ж1П (1 шт.), 6Н2П (1 шт.) и 6П14П (2 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 25. Напряжение сигнала через компенсированный регулятор громкости $R_1R_2C_1$ поступает на сетку лампы первого каскада. Этот каскад выполнен на левом по схеме триоде лампы 6Н2П. Между первым и вторым каскадами включены широкодиапазонные регуляторы тембра. Регулировка тембра в области высших частот производится потенциометром R_{10}, а в области низших частот — потенциометром R_7.

Второй каскад выполнен на пентоде типа 6Ж1П. Применение пентода позволяет получить большой запас по усилению и поэтому охватить усилитель глубокой

отрицательной обратной связью. Напряжение сигнала с выхода второго каскада поступает на фазоинвертор, выполненный на триоде $Л_{1б}$ по схеме с разделенной нагрузкой. Оконечный каскад выполнен по двухтактной схеме на лампах типа 6П14П и работает в режиме *АВ*.

Последние три каскада усилителя охвачены глубокой отрицательной обратной связью. Напряжение обратной

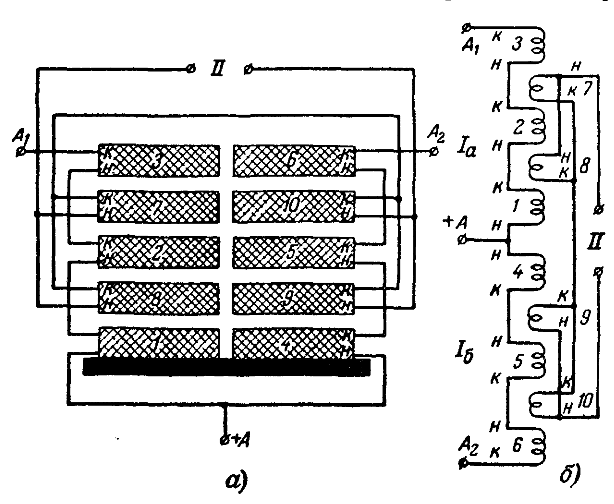


Рис. 26. Конструкция выходного трансформатора усилителя на 15 *вт*.

а — расположение обмоток; *б* — схема соединения обмоток.

связи подается с обмотки *II* выходного трансформатора через цепочку $R_{17}C_{12}$ в цепь катода лампы $Л_2$.

Питание усилителя может осуществляться от любого выпрямителя, обеспечивающего выпрямленное напряжение +325 *в* при токе до 100 *ма*.

Детали. Выходной трансформатор $Тр_1$ выполнен на сердечнике из пластин типа Ш-25, толщина пакета пластин 30 *мм*. Первичная обмотка трансформатора содержит 2×1 500 витков провода ПЭЛ 0,15. Вторичная обмотка (рассчитана на подключение нагрузки сопротивлением 16 *ом*) имеет 160 витков провода ПЭЛ 0,64.

Намотку трансформатора производят на каркасе со средней щечкой. Последовательность намотки секций обмоток трансформатора и схема соединения обмоток показаны на рис. 26. Вся первичная обмотка разделяется

на шесть секций по 500 витков, вторичная обмотка разделяется на четыре секции по 40 витков. Сначала наматывают секции *1—8—2—7—3* трансформатора, затем каркас снимается с намоточного станка, переворачивается на 180° и наматывают секции *4—9—5—10—6*.

Все секции первичной обмотки соединяются последовательно, вторичная же обмотка состоит из двух последовательно включенных половин, каждая из которых в свою очередь состоит из двух параллельно включенных секций.

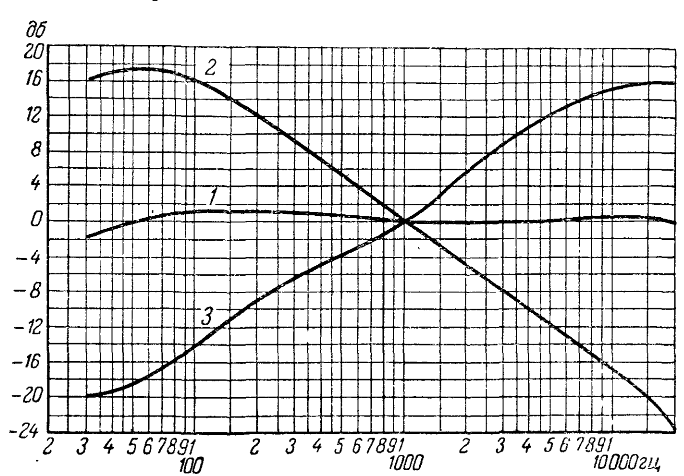


Рис. 27. Частотные характеристики усилителя при различных положениях регуляторов тембра.

При такой намотке удается выполнить симметричный трансформатор с малыми индуктивностями рассеяния и малыми паразитными емкостями, что позволяет создать усилитель с широкой полосой пропускания и хорошей фазовой характеристикой (рис. 27).

УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ РАДИОУСТАНОВКИ

(«Радио», 1959, № 3, стр. 43)

Усилитель разработан для использования в комбинированной радиоустановке и конструктивно выполнен в виде двух отдельных блоков: предварительного усилителя и мощного усилителя.

Выходная мощность усилителя 10 *вт*, при коэффициенте нелинейных искажений менее 0,5%. Чувствительность усилителя (со входа предварительного усилителя) равна 100 *мв*. Полоса пропускания усилителя 20—20 000 *гц* при неравномерности не более ±0,5 *дб*. Усилитель имеет раздельные плавные регуляторы тембра, позволяющие производить регулировку на краях полосы пропускания не менее чем на ±20 *дб*. Кроме этого, в усилителе имеется переключатель полосы пропускания на три положения: «20 *кгц*», «10 *кгц*» и «5 *кгц*».

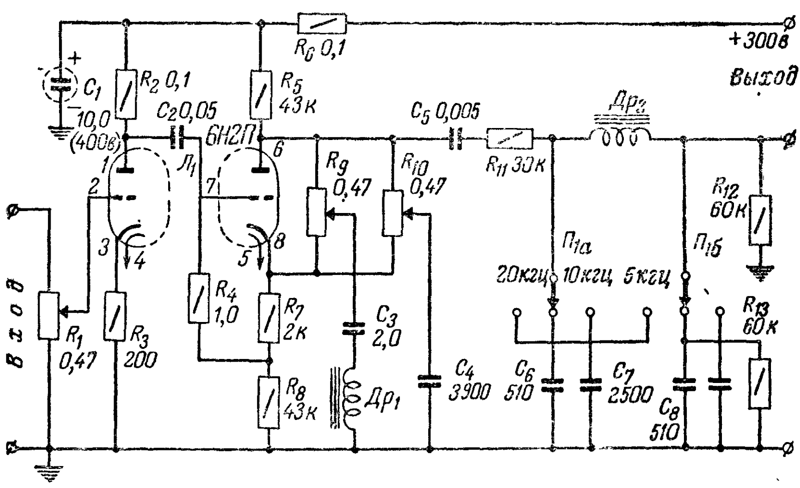


Рис. 28. Принципиальная схема предварительного усилителя для комбинированной радиоустановки.

При включении фильтра происходит резкое ослабление усиления выше частоты, значение которой соответствует данному положению переключателя полосы. Все регулировки производятся в предварительном усилителе, оконечный каскад никаких регулировок не имеет. Усилитель имеет четыре лампы: 6Н2П (2 шт.) и 6П14П (2 шт.).

Предварительный усилитель (рис. 28). Напряжение сигнала от переключателя рода работы (на схеме не показан) через регулятор громкости R_1 поступает на сетку левого (по схеме) триода лампы $Л_1$. Этот триод

включен по обычной схеме усиления напряжения. Правый триод лампы $Л_1$ используется в схеме широкодиапазонного регулятора тембра.

Регуляторы тембра включены в цепь отрицательной обратной связи. Регулировка тембра в области низших частот производится потенциометром R_9, в области высших частот — потенциометром R_{10}. В среднем положении

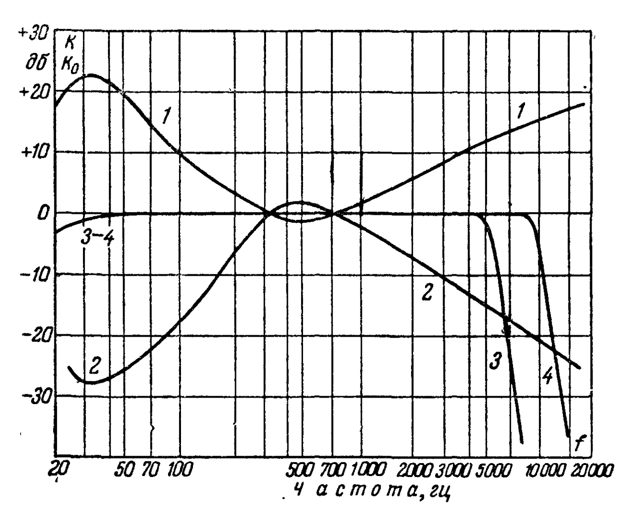


Рис. 29. Частотные характеристики предварительного усилителя.

движков потенциометров R_9 и R_{10} сопротивления в аноде и катоде каскада примерно равны, и усиление каскада близко к единице.

В нижнем положении движков потенциометров элементы C_3, $Др_1$ и C_4 шунтируют нагрузку в цепи катода каскада. Это приводит к уменьшению обратной связи на крайних частотах и увеличению усиления на этих частотах (кривая *1—1* на рис. 29).

В верхнем (по схеме) положении движков потенциометров анодная нагрузка каскада шунтируется на низших частотах контуром $Др_1C_3$, настроенным на 30 *гц*, а на высших частотах — конденсатором C_4. Частотная характеристика предварительного усилителя при этом имеет вид, показанный на рис. 29 (кривая *2—2*).

Переключатель полосы пропускания включен на выходе предварительного усилителя. Изменение полосы пропускания усилителя производится изменением настройки П-образного *LC*-фильтра с помощью переключателя $П_1$. В положении «20 *кгц*» фильтр исключается из схемы усилителя. Достоинством *LC*-фильтра является резкое уменьшение усиления за пределами полосы

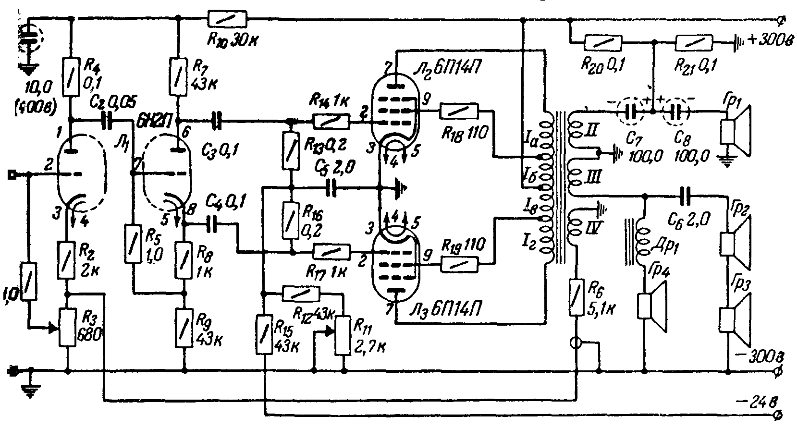


Рис. 30. Принципиальная схема мощного усилителя для комбинированной радиоустановки

пропускания. Крутизна спада частотной характеристики равна около 18 *дб* на октаву.

Детали. Дроссель $Др_1$ выполнен на сердечнике из пермаллоевых пластин типа Ш-7, толщина пакета пластин 7 *мм*. Индуктивность дросселя равна 17 *гн*, точное число витков дросселя зависит от качества пластин сердечника и находится опытным путем. Дроссель $Др_2$ выполняется на тороидальном сердечнике и имеет индуктивность 1 *гн*.

Мощный усилитель (рис. 30). Усилитель имеет каскад предварительного усиления и фазоинвертор, которые выполнены на лампе $Л_2$ 6Н2П. Первый каскад выполнен по обычной схеме, а фазоинвертор выполнен по схеме с разделенной нагрузкой. Оконечный каскад выполнен на двух лампах 6П14П по ультралинейной схеме и работает в режиме AB_1. Напряжение смещения на управляющие сетки ламп оконечного каскада подается от отдельного источника отрицательного напряжения

(—24 *в*). Установка величины напряжения смещения производится потенциометром R_{11}. Усилитель охвачен отрицательной обратной связью глубиной 20 *дб*, напряжение которой подается в цепь катода лампы первого каскада усиления с обмотки *IV* выходного трансформатора через сопротивление R_6. К выходу усилителя подключена трехканальная акустическая система.

Разделение полосы частот осуществляется на выходе усилителя с помощью разделительных фильтров. Напряжение сигнала низших частот (30—70 *гц*) через дроссель $Др_1$ подводится к громкоговорителю $Гр_4$. Напряжение сигнала средних частот (700—4 000 *гц*) через конденсаторы C_7C_8 подводится к громкоговорителю $Гр_1$. Сопротивления $R_{20}R_{21}$ включены для создания напряжения поляризации на обкладках конденсаторов C_7C_8. На высокочастотные громкоговорители $Гр_2$ и $Гр_3$ напряжение сигнала с частотами 4 000—20 000 *гц* подводится через конденсатор C_6.

Для питания оконечного усилителя можно использовать выпрямитель, обеспечивающий напряжение 300 *в* при токе до 90 *ма*.

Детали. В акустическом агрегате, на работу с которым рассчитан усилитель, используются следующие громкоговорители: $Гр_1$ — типа 5ГД-14 или 5ГД-10, $Гр_2$ и $Гр_3$ — типа 1ГД-9, $Гр_4$ — громкоговоритель от радиоприемника «Рига-10» с резонансной частотой 40 *гц*. Выходной трансформатор выполнен на сердечнике из пластин Ш-25, толщина пакета пластин 37 *мм*. Обмотки *Iа* и *Iг* имеют 3×350 витков провода ПЭЛ 0,33, а обмотки *Iб* и *Iв* имеют по 350 витков того же провода.

Обмотка *II* состоит из двух секций по 70 витков, включенных параллельно, а обмотка *III* состоит из двух секций по 70 витков, включенных последовательно. Эти обмотки намотаны проводом ПЭЛ 0,9. Обмотка обратной связи *IV* имеет две секции по 50 витков, включенные последовательно, и выполняется проводом ПЭЛ 0,15.

УСИЛИТЕЛЬ НА 20 *вт*

(«Радио», 1960, № 7, стр 50)

Усилитель рассчитан на работу с предварительным усилителем, в котором установлены все регуляторы тембра и громкости.

Выходная мощность усилителя равна 20 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 1,2%. Чувствительность усилителя 500 *мв*. Неравномерность частотной характеристики усилителя в полосе частот от 30 *гц* до 25 *кгц* не превышает ±1 *дб*. Усилитель выпол-

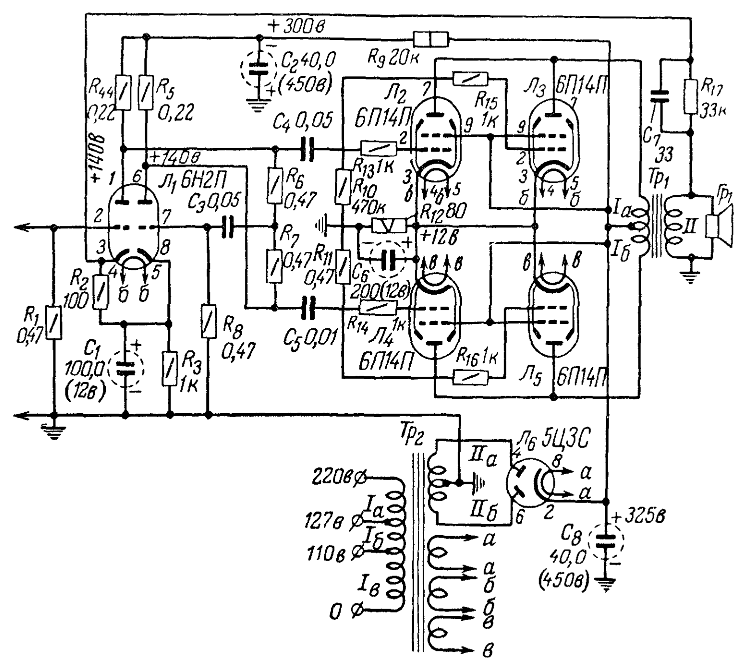


Рис. 31. Принципиальная схема усилителя на 20 *вт*.

нен на шести лампах: 6Н2П (1 шт.), 6П14П (4 шт.) и 5Ц3С (1 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 31. Усилитель имеет два каскада: фазоинвертор и выходной каскад. Фазоинвертор выполнен по самобалансирующейся схеме. Выходной каскад выполнен на четырех лампах типа 6П14П, работающих по двухтактной схеме в режиме АВ. Напряжение смещения на управляющие сетки ламп подается с общего катодного сопротивления R_{12}. Сопротивления $R_{13} \div R_{16}$ включены для предотвращения самовозбуждения усилителя на сверхвысоких частотах.

Усилитель охвачен глубокой отрицательной обратной связью, напряжение которой подается с обмотки *II* выходного трансформатора $Тр_1$ в цепь катода лампы фазоинвертора. Питание усилителя производится от двухполупериодного выпрямителя на лампе 5Ц3С. Анодное напряжение на фазоинвертор подается через развязывающий фильтр R_9C_2.

Детали. Выходной трансформатор $Тр_1$ выполнен на сердечнике из пластин типа Ш-30 при толщине набора пластин 35 *мм.* Обмотки *Iа* и *Iб* содержат по 1 200 витков провода ПЭЛ 0,31, обмотка *II* содержит 90 витков провода ПЭЛ 1,0. Намотка выходного трансформатора производится таким же образом, как и в усилителе, выполненном по схеме на рис. 25.

Силовой трансформатор $Тр_2$ выполнен на сердечнике из пластин Ш-40 при толщине пакета пластин 50 *мм.* Сетевая обмотка содержит 220+34+186 витков провода ПЭЛ 0,8. Обмотки *IIа* и *IIб* содержат по 700 витков провода ПЭЛ 0,31; обмотка накала кенотрона *III* содержит 11 витков провода ПЭЛ 1,0, а обмотки накала ламп *IV* и *V* содержат по 13,5 витков провода ПЭЛ 1,0.

ПРОСТОЙ ДВУХКАНАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

(«Радио», 1960, № 7, стр. 51)

Усилитель выполнен на трех лампах и имеет следующие параметры: выходная мощность канала низших частот 4,5 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений около 3%, выходная мощность канала высших частот 3 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений около 2%. Чувствительность усилителя 250 *мв.*

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 32. Разделение частот производится после регулятора громкости R_1. Напряжение сигнала высших частот через цепочку C_1R_2 поступает на сетку триода $Л_{1а}$ (каскада предварительного усиления канала высших частот). Напряжение сигнала низших частот через цепочку $R_{10}C_7R_{11}$ поступает на вход каскада предварительного усиления канала низших частот.

В каждом канале напряжение сигнала с анодов ламп каскадов предварительного усиления поступает на сетки ламп оконечных каскадов.

Для уменьшения взаимномодуляционных искажений

усиление канала низших частот выше частоты разделения каналов (1 000 *гц*) и усиление канала высших частот ниже частоты разделения каналов должно резко уменьшаться. Для этого в усилителе канала высших частот уменьшены емкости переходных конденсаторов C_1 и C_5

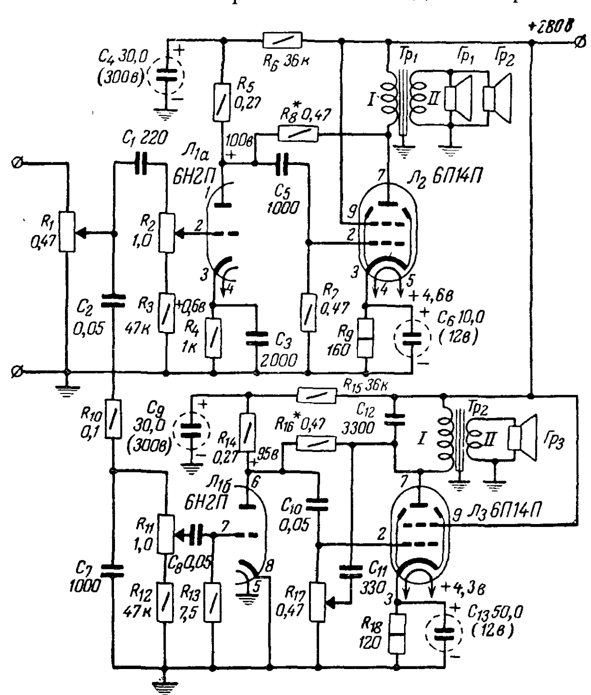


Рис. 32. Принципиальная схема простого двухканального усилителя.

и емкость блокировочного конденсатора C_3 в цепи катода лампы $Л_{1а}$.

В канале низших частот для ослабления усиления выше частоты разделения включен конденсатор C_7, в оконечном каскаде применена частотно-зависимая отрицательная обратная связь, напряжение которой подается из анодной цепи лампы $Л_3$ в цепь ее сетки через конденсатор C_{11}. Кроме этого, первичная обмотка выходного трансформатора $Тр_2$ заблокирована конденсатором C_{12}.

Для уменьшения нелинейных искажений в обоих каналах используется отрицательная обратная связь, которая создается благодаря включению сопротивлений R_8 и R_{16}. Питание усилителя может производиться от любого выпрямителя, обеспечивающего напряжение 280 *в* при токе до 110 *ма.*

Детали. Выходной трансформатор $Тр_1$ канала высших частот выполнен на сердечнике из пластин УШ-12, толщина пакета пластин 10 *мм.* Первичная обмотка *I* содержит 1 500 витков провода ПЭЛ 0,1, а вторичная *II* содержит 60 витков провода ПЭЛ 0,51 и рассчитана на подключение двух громкоговорителей типа 1ГД-9. Пластины трансформатора $Тр_1$ собраны в стык с зазором 0,1 *мм.*

Выходной трансформатор $Тр_2$ канала низших частот выполнен на сердечнике из пластин УШ-19, толщина пакета пластин 30 *мм.* Первичная обмотка *I* содержит 3 000 витков провода ПЭЛ 0,15. Вторичная обмотка *II* содержит 52 витка провода ПЭЛ 0,64 и рассчитана на подключение громкоговорителя 5ГД-14. Пластины трансформатора собраны в стык с зазором 0,12 *мм.* В качестве $Тр_1$ и $Тр_2$ можно использовать выходные трансформаторы соответствующих каналов от радиол «Октава», «Волга» или «Жигули».

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

(Радио», 1958, № 5, стр. 49)

Общая полоса частот, воспроизводимых усилителем, равна 60—15 000 *гц*, причем усилитель канала низших частот воспроизводит полосу частот от 60 до 1 000 *гц*, а усилитель канала высших частот—от 1 000 до 15 000 *гц.*

Выходная мощность усилителя канала низших частот равна 4 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 2,5%, причем максимальная выходная мощность составляет 9 *вт.* Выходная мощность канала высших частот равна 1,5 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений менее 4,5%, а максимальная выходная мощность 3 *вт.* Чувствительность усилителя 120 *мв.* Усилитель выполнен на пяти пальчиковых радиолампах: 6Н2П (2 шт.) и 6П14П (3 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 33. Первый каскад, выполненный на триоде $Л_{1а}$,

является общим для обоих каналов. Разделение полосы воспроизводимых частот на каналы производится после первого каскада с помощью корректирующих RC-цепочек. Напряжение канала высших частот через фильтр верхних частот $C_2C_3R_4R_5$ поступает на сетку триода $Л_{1б}$ предварительного усилителя канала верхних частот

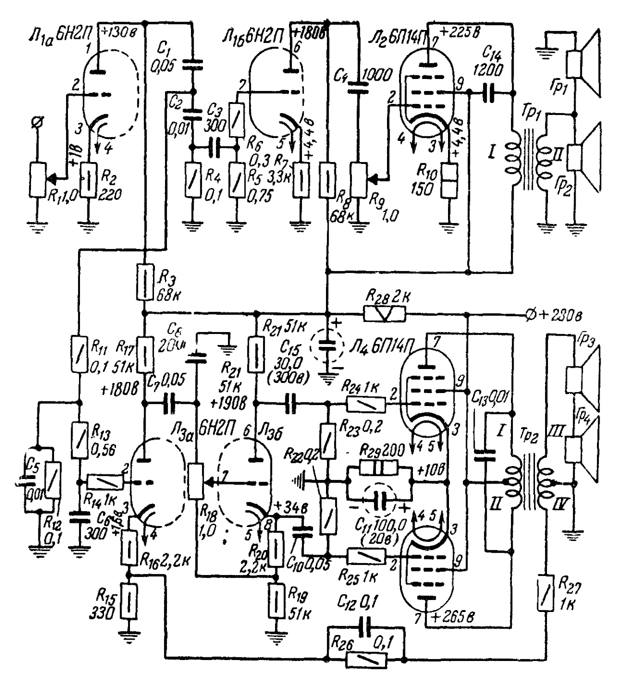


Рис. 33. Принципиальная схема двухканального усилителя.

Этот усилитель выполнен на триоде $Л_{1б}$ и пентоде 6П14П. К вторичной обмотке выходного трансформатора канала верхних частот $Тр_1$ подключаются громкоговорители верхних частот $Гр_1$ и $Гр_2$.

Напряжение канала низших частот через фильтр низших частот $R_{11}C_5R_{13}C_6R_{12}$ поступает на вход канала низших частот. Этот усилитель имеет предварительный каскад и фазоинвертор, выполненные на лампе 6Н2П, и оконечный двухтактный каскад на лампах 6П14П. В анодную цепь ламп $Л_4$ и $Л_5$ включен трансформа-

тор $Тр_2$, к обмотке *III* которого подключают низкочастотные громкоговорители. Регулировку тембра в усилителе можно производить изменением усиления одного из каналов с помощью регулятора R_9 или R_{18}.

Для резкого ослабления усиления в нерабочей полосе частот переходные конденсаторы в усилителе верхних частот выбраны равными 1 000 *пф*, а в канале низших частот включены шунтирующие конденсаторы C_8 и C_{13}.

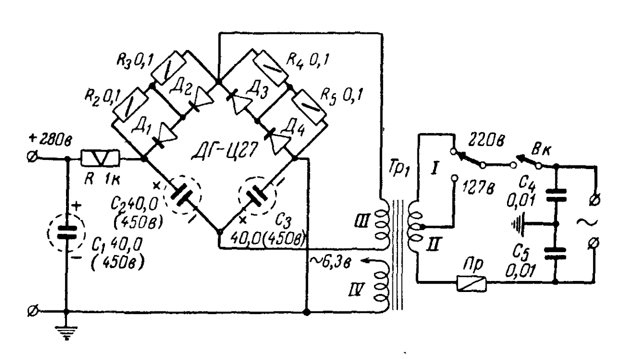


Рис. 34. Схема выпрямителя двухканального усилителя.

Для снижения нелинейных искажений все каскады (кроме выходного каскада канала низших частот) охвачены отрицательной обратной связью по току, поскольку отсутствуют блокировочные конденсаторы в цепях катодов ламп. Кроме этого, в канале низших частот применена дополнительная отрицательная обратная связь. Напряжение обратной связи подается с обмотки *IV* выходного трансформатора через цепочку $C_{12}R_{26}R_{27}$ в цепь катода лампы $Л_{3а}$.

Питание усилителя производится от выпрямителя (рис. 34), собранного по схеме с удвоением напряжения на полупроводниковых диодах Д7Ж и смонтированного на отдельном шасси.

Детали. Усилитель рассчитан на работу с разнесенной акустической системой объемного звучания. Громкоговорители канала низших частот $Гр_3$ и $Гр_4$ монтируют в акустическом агрегате объемом не менее 200 000—300 000 *см*². Громкоговорители канала высших частот $Гр_1$ и $Гр_2$ монтируют в глухих ящиках объемом 3 000—

5 000 $см^2$, которые располагают на расстоянии 2—3 *м* по обе стороны от $Гр_3$ и $Гр_4$. Ориентация громкоговорителей в пространстве находится опытным путем при налаживании акустической системы.

В качестве громкоговорителей $Гр_3$ и $Гр_4$ используются громкоговорители типа 4ГД-1 или 4ГД-3, а в качестве $Гр_1$ и $Гр_2$ — громкоговорители типа 2ГД-3. При размещении всех громкоговорителей в одном объеме в качестве низкочастотных громкоговорителей следует применять громкоговорители 5ГД-14 или 5ГД-9, а в качестве высокочастотных — типа 2ГД-3 или 1ГД-9.

Выходной трансформатор $Тр_1$ канала высших частот выполнен на сердечнике из пластин УШ-12, толщина пакета пластин 18 *мм*. Пластины собраны в стык с зазором в 0,12 *мм*. Первичная обмотка *I* имеет 1 500 витков ПЭЛ 0,09, а вторичная *II* — 38 витков провода ПЭЛ 0,59. В случае применения громкоговорителей 1ГД-9 вторичная обмотка должна иметь 56 витков провода ПЭЛ 0,59.

Выходной трансформатор $Тр_2$ канала низших частот выполнен на сердечнике из пластин УШ-19, толщина пакета пластин 28 *мм*. Пластины трансформатора собираются вперекрышку. Обмотки *I* и *II* выполняются проводом ПЭЛ 0,12 и имеют по 1 740 витков каждая. Обмотка *III* выполняется проводом ПЭЛ 0,64 и имеет 104 витка провода ПЭЛ 0,64, а обмотка обратной связи *IV* имеет 250 витков провода ПЭЛ 0,1.

Силовой трансформатор выполнен на сердечнике из пластин УШ-22, толщина пакета пластин 44 *мм*. Обмотка *I* имеет 350 витков провода ПЭЛ 0,27; обмотка *II* — 480 витков провода ПЭЛ 0,31; обмотка *III* — 460 витков провода ПЭЛ 0,18, и обмотка *IV* — 26 витков провода ПЭЛ 1,2.

ПРОСТОЙ УСИЛИТЕЛЬ БЕЗ ВЫХОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

(«Радио», 1959, № 6, стр. 42)

Выходная мощность усилителя 2 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений около 1,5%. Чувствительность усилителя 230 *мв*, полоса пропускания усилителя от 8—10 *гц* до 100 *кгц*. С помощью раздельных плавных регуляторов тембра частотная характеристика усилителя может регулироваться в пределах ±15 *дб* как на низ-

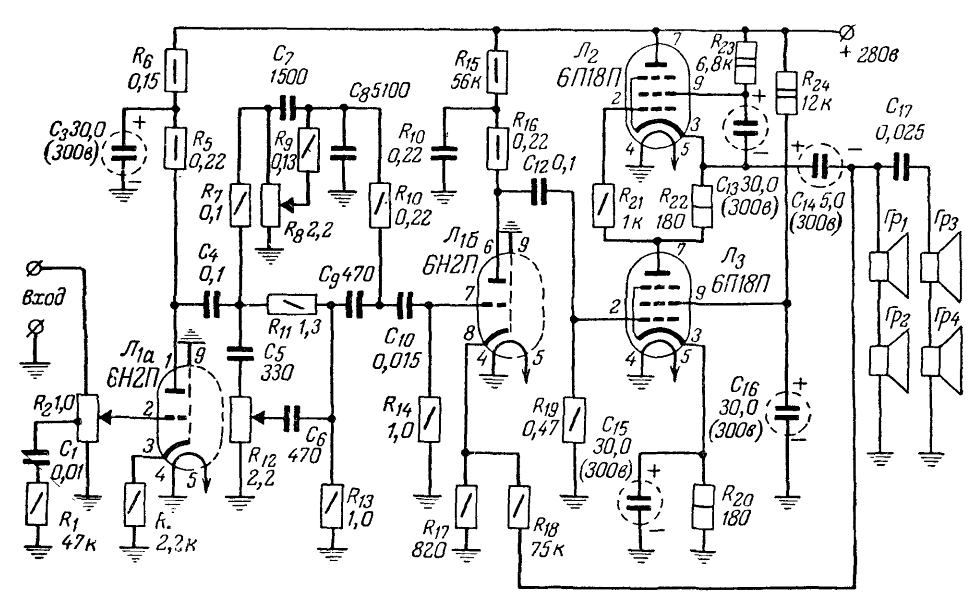


Рис. 35. Принципиальная схема простого усилителя без выходного трансформатора.

ших, так и на высших частотах. Усилитель выполнен на трех радиолампах 6Н2П и 6П18П (2 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 35. Усилитель имеет два каскада предварительного усиления на лампе 6Н2П и выходной двухтактный каскад на лампах 6П18П. Между первым и вторым каскадами усилителя включены регуляторы тембра. Регулировка тембра в области низших частот производится потенциометром R_8, а в области высших частот — потенциометром R_{12}.

Напряжение сигнала с выхода предварительного усилителя (т. е. с анода лампы $Л_{1б}$) подается на сетку лампы $Л_3$ оконечного каскада. Напряжение сигнала на сетку другой лампы оконечного каскада $Л_2$ подается с сопротивления R_{22}, включенного в анодную цепь лампы $Л_3$. Падение напряжения сигнала на этом сопротивлении имеет фазу, отличающуюся на 180° от фазы напряжения на сетке лампы $Л_3$, что и необходимо для нормальной работы двухтактного оконечного каскада. Равенство напряжений на сетках ламп $Л_3$ и $Л_2$ обеспечено соответствующим выбором сопротивления R_{22}.

Усилитель охвачен отрицательной обратной связью глубиной 19 *дб*. Напряжение обратной связи подается с выхода усилителя в цепь катода лампы $Л_{1б}$ через сопротивление R_{18}. Выходное сопротивление усилителя равно 90 *ом*, что обеспечивает хорошее демпфирование акустической системы, на которую работает усилитель, так как сопротивление нагрузки на частоте 1 000 *м* должно быть равно 960 *ом*.

Усилитель рассчитан на работу с двумя низкочастотными громкоговорителями типа 2ГД-6 ($Гр_1$ и $Гр_2$) и двумя высокочастотными типа 1ГД-17 ($Гр_3$ и $Гр_4$). Питание анодных цепей усилителя можно производить от любого выпрямителя, обеспечивающего выпрямленное напряжение 280—300 *в* при токе до 60 *ма*.

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ БЕЗ ВЫХОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

(«Радио», 1959, № 6, стр. 43)

Усилитель пропускает полосу частот от 10 *гц* до 200 *кгц*, причем усилитель канала низших частот обеспечивает усиление полосы частот от 10 *гц* до 1 000 *гц*,

а усилитель канала высших частот обеспечивает усиление частот выше 1 000 *гц*. Выходная мощность усилителя каждого канала равна 6 *вт*. Коэффициент нелинейных искажений не превышает 1% в канале низших

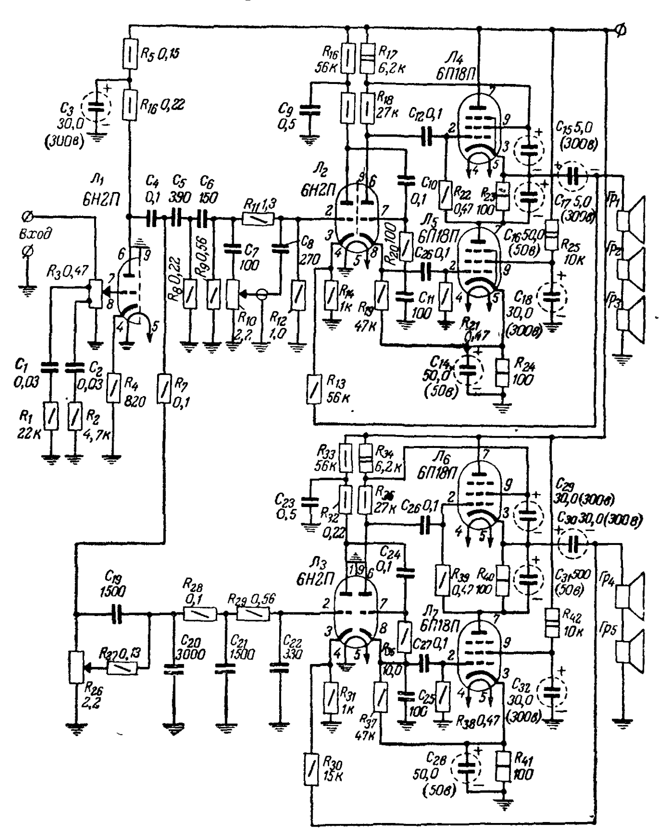


Рис. 36. Принципиальная схема двухканального усилителя без выходного трансформатора.

частот и 2% в канале высших частот. Чувствительность усилителя равна 200 *мв*.

Усилитель выполнен на семи лампах 6Н2П (3 шт.) и 6П18П (4 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 36. Напряжение сигнала усиливается общим широкополосным каскадом предварительного усиления,

выполнением на одном триоде лампы 6Н2П. Разделение каналов осуществляется на выходе этого каскада с помощью *RC*-фильтров. Напряжение сигнала высших частот через фильтр высших частот $C_5C_6C_7C_8R_8R_9R_{10}$ подается на усилитель канала высших частот. Напряжение канала низших частот через фильтр низших частот $C_{19}C_{20}C_{21}C_{22}R_{27}R_{28}R_{29}$ подается на усилитель канала низших частот. Регулировка тембра производится потенциометрами R_{26} (на низших частотах) и R_{10} (на высших частотах).

Усилители обоих каналов выполнены по одинаковым схемам и отличаются лишь глубиной отрицательной обратной связи. В усилителе низших частот глубина обратной связи равна 28 *дб*, а в усилителе высших частот — 21 *дб*. Каждый усилитель имеет один каскад предварительного усиления на одном триоде лампы 6Н2П, фазоинвертор на другом триоде этой же лампы. Фазоинвертор выполнен по схеме с разделенной нагрузкой. Оконечный каскад выполнен по двухтактной последовательной схеме на лампах 6П18П. Напряжение отрицательной обратной связи подается с выхода усилителя в цепь катода лампы первого каскада усилителя. Нагрузкой усилителя канала низших частот служат два громкоговорителя типа 5ГД-16, а нагрузкой канала высших частот — три громкоговорителя типа ВГД-2.

Для питания усилителя необходим выпрямитель, обеспечивающий выпрямленное напряжение 350 *в* при токе до 150 *ма*.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ БЕЗ ВЫХОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

(«Радио», 1959, № 6, стр. 44)

Особенностью усилителя является наличие в нем комбинации положительной и отрицательной обратной связи, что позволило резко снизить нелинейные и частотные искажения. Выходная мощность усилителя равна 7 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений около 0,5%. Чувствительность усилителя 200 *мв*. Частотная характеристика усилителя практически равномерна в диапазоне частот 10 *гц* — 200 *кгц*.

Усилитель выполнен на трех лампах: 6Н2П и 6П18П (2 шт.).

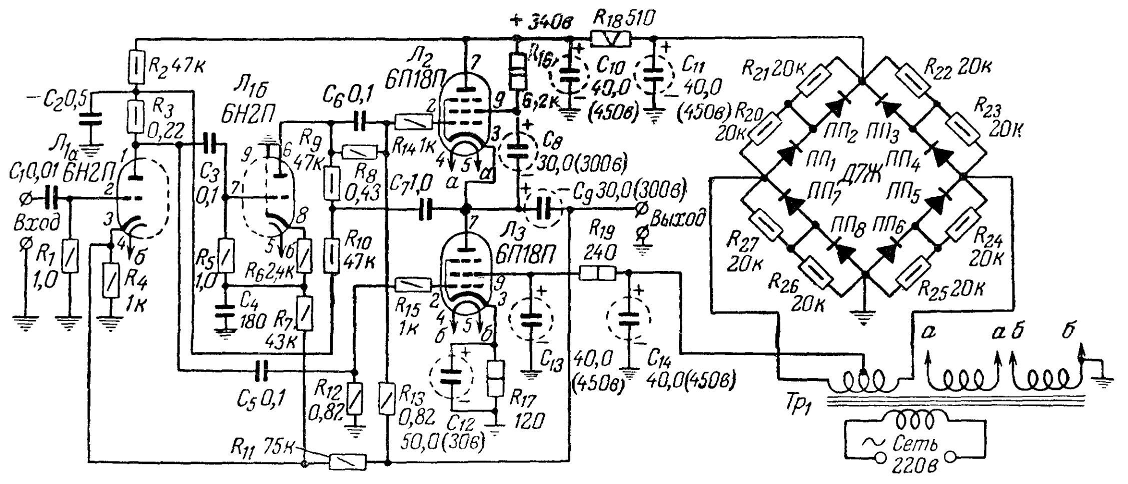


Рис 37 Принципиальная схема высококачественного усилителя без выходного трансформатора.

Схема. Принципиальная схема усилителя показана на рис. 37. Усилитель имеет один каскад предварительного усиления на левом (по схеме) триоде лампы 6Н2П. Напряжение сигнала с анода триода $Л_{1а}$ подается на сетку лампы одного плеча оконечного каскада — на сетку лампы $Л_3$ и на сетку триода $Л_{1б}$. С анода триода $Л_{1б}$ напряжение сигнала подается на сетку лампы другого плеча оконечного каскада — на сетку лампы $Л_2$. Для уменьшения частотных искажений на низших частотах связь между анодом лампы $Л_{1б}$ и управляющей сеткой лампы $Л_2$ осуществляется без переходного конденсатора.

Напряжение отрицательной обратной связи подается с выхода усилителя в цепь катода лампы первого каскада усилителя через сопротивление R_{11}. Положительная обратная связь в усилителе создается благодаря включению между катодами лампы $Л_{1а}$ и $Л_{1б}$ сопротивления R_7. Питание анодных цепей усилителя производится от двухполупериодного выпрямителя, собранного на полупроводниковых диодах типа Д7Ж.

Детали. Силовой трансформатор $Тр_1$ выполняется на сердечнике из пластин типа Ш-25, толщина набора пластин 50 *мм*. Сетевая обмотка для сети с напряжением 220 *в* имеет 600 витков провода ПЭЛ 0,68, повышающая обмотка имеет 2×475 витков провода ПЭЛ 0,47, обмотка накала ламп $Л_1$—$Л_3$ наматывается проводом ПЭЛ 1,45 и имеет 18 витков, обмотка накала лампы $Л_2$ имеет 18 витков провода ПЭЛ 0,82.

УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ШКОЛЬНОГО РАДИОУЗЛА

Усилитель может быть использован в школе или пионерлагере для проигрывания граммофонных пластинок и ведения местной передачи с помощью электродинамического микрофона. Он обеспечивает работу 5—10 трансляционных точек в помещении школы или лагеря и уличного громкоговорителя мощностью 10 *вт* (типа Р-10). Усилитель выполнен на пяти радиолампах: 6Н2П (2 шт.), 6П14П (2 шт.) и 5Ц4С (1 шт.).

Схема усилителя по возможности упрощена с тем, чтобы изготовление усилителя было доступно школьникам, впервые приступающим к постройке радиоаппаратуры. Питание усилителя производится от сети переменного тока напряжением 110, 127 или 220 *в*.

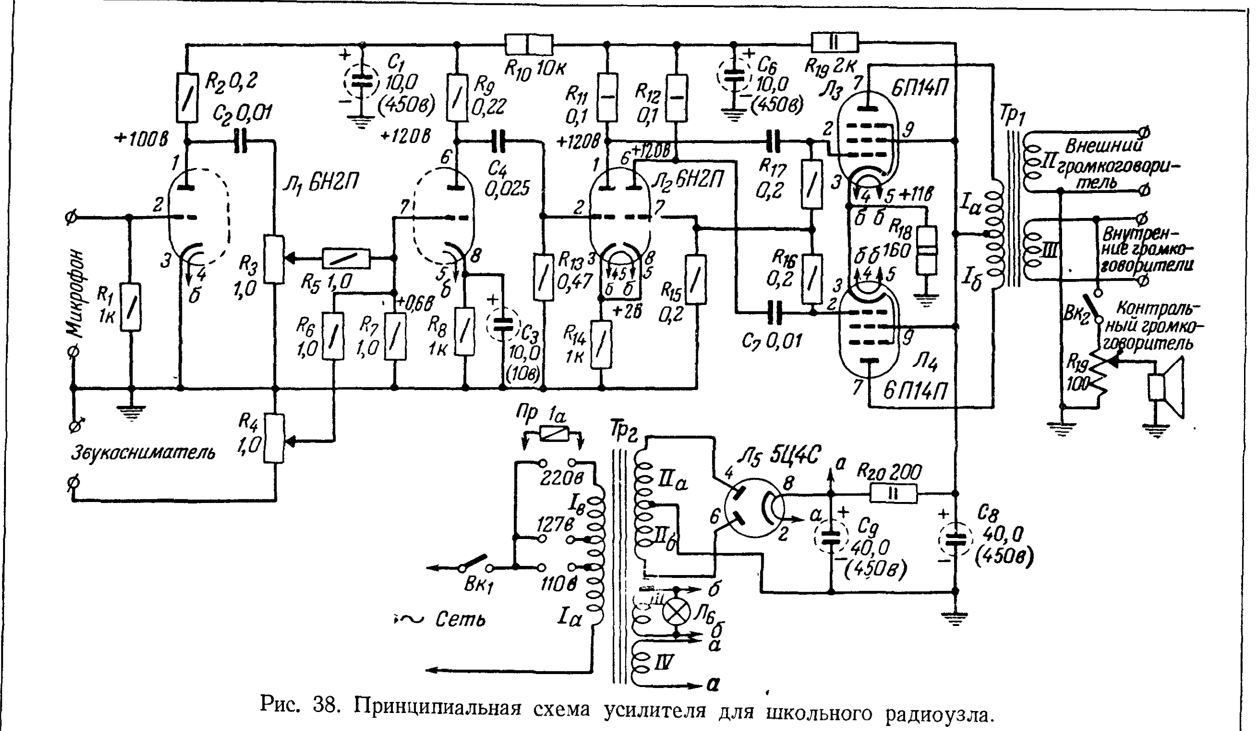


Рис. 38. Принципиальная схема усилителя для школьного радиоузла.

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 38. Усилитель имеет два каскада предварительного усиления, фазоинверсный каскад, двухтактный выходной каскад и выпрямитель. Первый каскад предварительного усилителя выполнен на левом по схеме триоде лампы $Л_1$ и используется только при работе с микрофоном. Усиленное напряжение от микрофона с анода триода через регулятор громкости R_3 подается на сетку лампы второго каскада усилителя.

На эту же сетку через потенциометр R_4 и сопротивление R_6 подается напряжение от звукоснимателя. Громкость передачи при работе микрофоном регулируется потенциометром R_3, а при проигрывании грамзаписи — потенциометром R_4. Усилитель позволяет производить передачу речи на фоне музыки, необходимое соотношение между уровнями производится на слух с помощью этих же потенциометров.

Выходной каскад выполнен на лампах 6П14П. Обмотка *II* выходного трансформатора *Тр* рассчитана на подключение громкоговорителя Р-10, который должен быть переключен на 120 *в*. К обмотке *III* подключаются абонентские громкоговорители с рабочим напряжением 15 *в*; контрольный громкоговоритель $Гр_1$ подключен через выключатель $Вк_2$ и регулятор громкости R_{19} к обмотке *III*. Контрольный громкоговоритель подключается только при воспроизведении грамзаписи. При работе микрофоном, расположенным в той же комнате, что и усилитель, контрольный громкоговоритель усилителя следует отключать.

Конструкция. Все детали усилителя смонтированы на металлическом шасси размерами 50×200×360 *мм*. Расположение деталей на лицевой панели и на шасси показано на рис. 39,*а* и *б*.

Смонтированный усилитель вставляют в кожух подходящих размеров, который можно изготовить из листового металла или фанеры.

Детали. Выходной трансформатор выполняется на сердечнике из пластин Ш-25 при толщине пакета пластин 25 *мм*. Обмотки *Iа* и *Iб* имеют по 1 200 витков провода ПЭЛ 0,25. Обмотка *II* имеет 500 витков провода ПЭЛ 0,25, а обмотка *III* имеет 100 витков провода ПЭЛ 0,6. Силовой трансформатор имеет следующие данные: сердечник из пластин Ш-30, толщина пакета

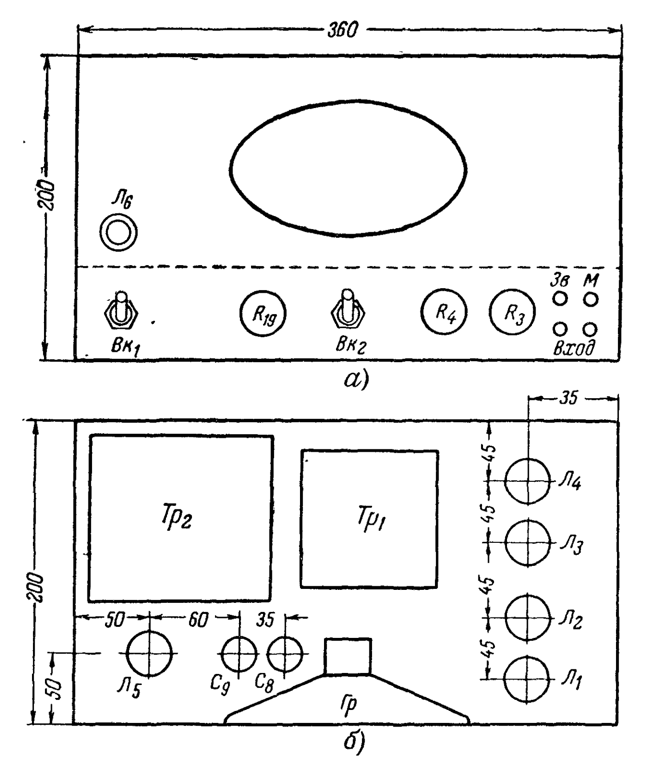


Рис. 39. Расположение деталей усилителя для школьного радиоузла.

а — на лицевой панели; *б* — на шасси.

пластин 45 *мм*. Сетевая обмотка *Iа* (на 110 *в*) имеет 440 витков провода ПЭЛ 0,64, обмотка *Iб* имеет 70 витков того же провода и обмотка *Iв*—370 витков провода ПЭЛ 0,35. Повышающая обмотка *II* имеет 2×900 витков провода ПЭЛ 0,35, обмотка накала ламп *III* имеет 26 витков провода ПЭЛ 1,5 и обмотка накала кенотрона *IV* — 20 витков того же провода.

УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ МАГНИТОФОНА

(«Радио», 1960, № 6, стр. 53)

Усилитель выполнен по универсальной схеме и предназначен для работы в любительском магнитофоне при скорости ленты 95,3 или 190,5 *мм/сек*. Усилитель позво-

ляет производить запись с микрофона, радиоприемника и трансляционной линии. Полоса воспроизводимых магнитофоном частот 50—7 000 *гц*. Выходная мощность усилителя воспроизведения равна 2 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не выше 4%.

Усилитель выполнен на четырех лампах, три из которых используются в усилителе и ВЧ-генераторе подмагничивания и стирания, четвертая лампа служит индикатором уровня сигнала при записи. Переключение усилителя с записи на воспроизведение осуществляется с помощью двух реле типа РСМ-2, обмотки которых питаются анодным током выходной лампы усилителя воспроизведения.

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 40. Первые три каскада усилителя используются как при записи, так и при воспроизведении. Коррекция частотных характеристик при записи и воспроизведении осуществляется с помощью частотно-зависимой отрицательной обратной связи, напряжение которой в обоих случаях подается с анода лампы третьего каскада в цепь катода лампы второго каскада.

При записи обмотки реле P_1 и P_2 обесточены и их контакты находятся в положении, показанном на принципиальной схеме. Контакты реле P_1 подключают на вход усилителя микрофон, а универсальная головка через сопротивление R_{13} и контакты реле P_2 подключается к выходу третьего каскада, который является выходным каскадом усилителя записи. Коррекция частотной характеристики при записи (подъем частотной характеристики на частоте 7 *кгц*) осуществляется при помощи двойного Т-образного моста $C_{12}C_{13}C_{14}R_{20}R_{21}R_{22}$.

Ток вч-подмагничивания подается в универсальную головку через конденсаторы $C_{17}C_{18}$ от генератора, выполненного на одном триоде лампы 6Н1П. Вч-напряжение на стирающую головку подается через конденсатор C_{16}, подбором емкости которого цепь стирающей головки настраивается в резонанс с частотой генератора (30 *кгц*). Генератор выполнен по схеме с автотрансформаторной обратной связью. Анодное напряжение на генератор подается при записи нажатием клавиши З (запись).

Контроль уровня сигнала при записи производится с помощью электронно-оптического индикатора типа 6Е5С. На управляющую сетку лампы 6Е5С подается

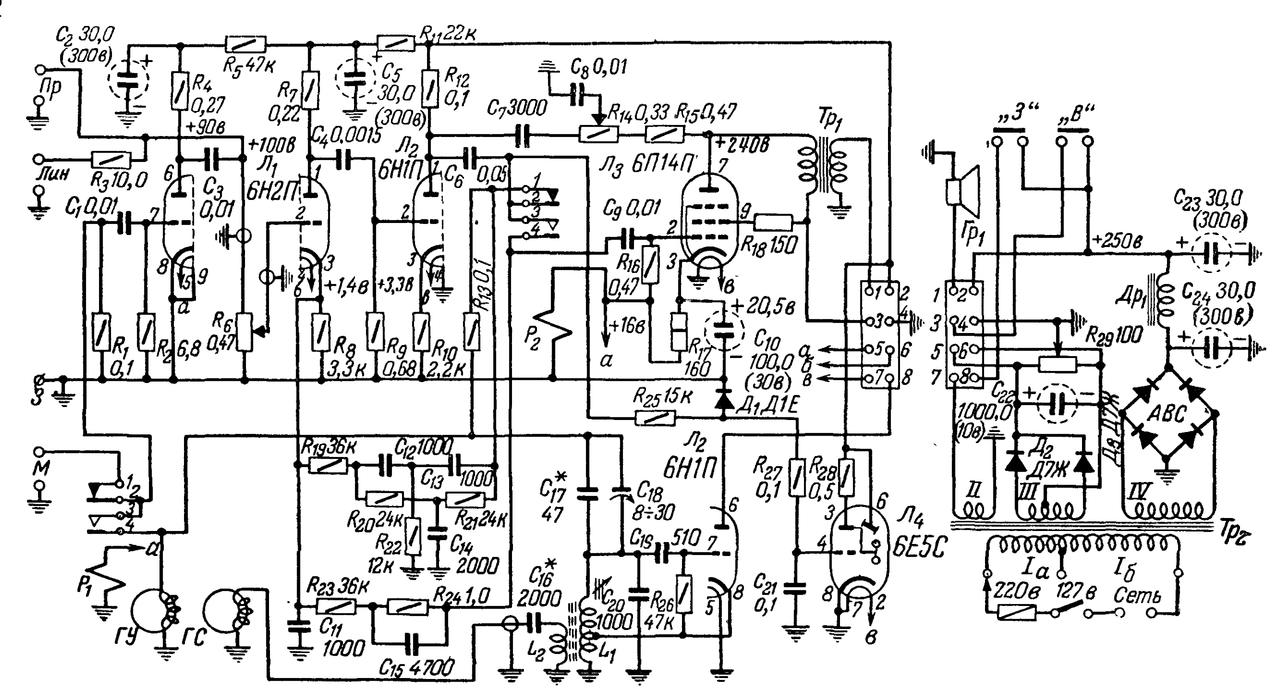


Рис. 40. Принципиальная схема усилителя для магнитофона.

в отрицательной полярности выпрямленное диодом $Д_1$ напряжение сигнала с выхода усилителя записи. При отсутствии сигнала отрицательное напряжение на сетке 6Е5С равно нулю и затемненный сектор на экране лампы имеет максимальный угол раствора. При наличии сигнала угол раствора тем меньше, чем больше уровень сигнала.

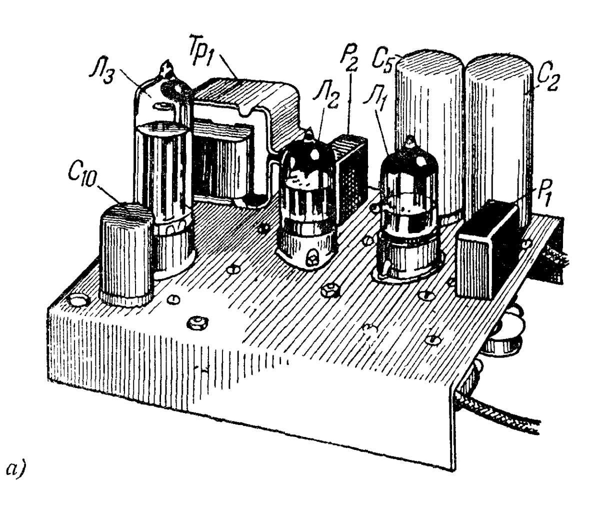
Переход от режима записи в режим воспроизведения осуществляется нажатием клавиши *В* (воспроизведение) на панели управления магнитофоном. При этом снимается анодное напряжение с высокочастотного генератора и подается анодное напряжение на лампу $Л_3$. Катодный ток этой лампы протекает через обмотки реле $Р_1$ и $Р_2$ и реле срабатывают. Для того чтобы напряжение смещения на сетке лампы $Л_3$ определялось только сопротивлением R_{17}, сопротивление утечки сетки R_{16} присоединено одним выводом не к шасси, а к точке соединения сопротивления R_{17} и обмоток реле.

При срабатывании реле универсальная головка контактами *3—4* реле $Р_1$ присоединяется на вход усилителя, а контакты *1—2* этого реле отключают микрофон. Контакты *3—4* реле $Р_2$ подключают к выходу третьего каскада выходную лампу $Л_3$ и переключают элементы коррекции в цепи частотно-зависимой обратной связи. При воспроизведении коррекция (подъем низших частот) осуществляется с помощью цепочки $R_{23}R_{24}C_{15}$.

Регулировка уровня при записи и воспроизведении осуществляется потенциометром R_6. Регулировка тембра при воспроизведении осуществляется потенциометром R_{14} в цепи отрицательной обратной связи, охватывающей оконечный каскад. Питание усилителя производится от двухполупериодного селенового выпрямителя. Нить накала первой лампы усилителя $Л_1$ питается выпрямленным диодами $Д_2 — Д_3$ напряжением.

Конструкция. Усилитель и выпрямитель смонтированы на отдельных шасси. Размещение деталей на шасси и монтаж показаны на рис. 41,*а* и *б*.

Детали. Усилитель рассчитан на работу с головками от магнитофона «Мелодия». Катушки вч-генератора намотаны в горшкообразном карбонильном сердечнике типа СБ-4а. Катушка L_1 имеет 1 200 витков провода ПЭЛ 0,1 с отводом от 120 витка, считая от заземленного вывода; катушка L_2 имеет 100 витков провода ПЭЛ 0,35.



а)

б)

Рис. 41. Расположение деталей усилителя для магнитофона.
а — сверху шасси; *б* — под шасси.

Реле P_1 и P_2 малогабаритные типа РСМ-2 имеют по паре нормально замкнутых (т. е. замкнутых при отсутствии тока в обмотках) контактов и по паре нормально разомкнутых контактов. Вместо этих реле можно применить и другие с током срабатывания не более 20 *ма* (например, типа РЭС-6).

Выходной трансформатор Tp_1 выполнен на сердечнике из пластин Ш-16 при толщине пакета пластин 16 *мм*. Пластины трансформатора собраны в стык с зазором 0,1 *мм*. Обмотка *I* имеет 2 800 витков провода ПЭЛ 0,12, а обмотка *II* (рассчитанная на подключение двух параллельно включенных громкоговорителя типа 1ГД-9) имеет 60 витков провода ПЭЛ 0,55.

Силовой трансформатор Tp_2 выполнен на сердечнике из пластин Ш-24 при толщине пакета пластин 25 *мм*. Сетевая обмотка *Iа* имеет 590, а обмотка *Iб* — 680 витков провода ПЭЛ 0,31; обмотка накала ламп *II* имеет 38 витков провода ПЭЛ 1,0, а обмотка *III* — 2×40 витков провода ПЭЛ 0,51. Анодная обмотка имеет 1 400 витков провода ПЭЛ 0,25.

В качестве силового трансформатора можно применить силовой трансформатор от унифицированных радиоприемников второго класса, например «Маяк» или «Харьков». Селеновый выпрямитель типа АВС-80-260.

УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОГРАММОФОНА

Усилитель предназначен для стереофонического радиограммофона, с помощью которого возможно воспроизведение стереофонических, долгоиграющих и обычных граммофонных пластинок.

Усилитель имеет два одинаковых канала усиления. При этом при переходе с одного вида записи на другой меняется только головка звукоснимателя, а никаких переключений в схеме усилителей не производится. При воспроизведении стереофонических записей один из усилителей используется для воспроизведения сигналов левого, а второй — правого каналов. При воспроизведении монофонических записей оба усилителя работают параллельно, причем необходимое переключение происходит автоматически при смене головки звукоснимателя.

Выходная мощность каждого канала 2 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 4%, чувстви-

тельность 200 *мв*, частотные характеристики усилителей равномерны в диапазоне частот 100—8 000 *гц*. Усилитель выполнен на лампах 6Н2П (1 шт.) и 6П14П (2 шт.).

Схема. Принципиальная схема для стереофонического радиограммофона приведена на рис. 42. Рассмотрим,

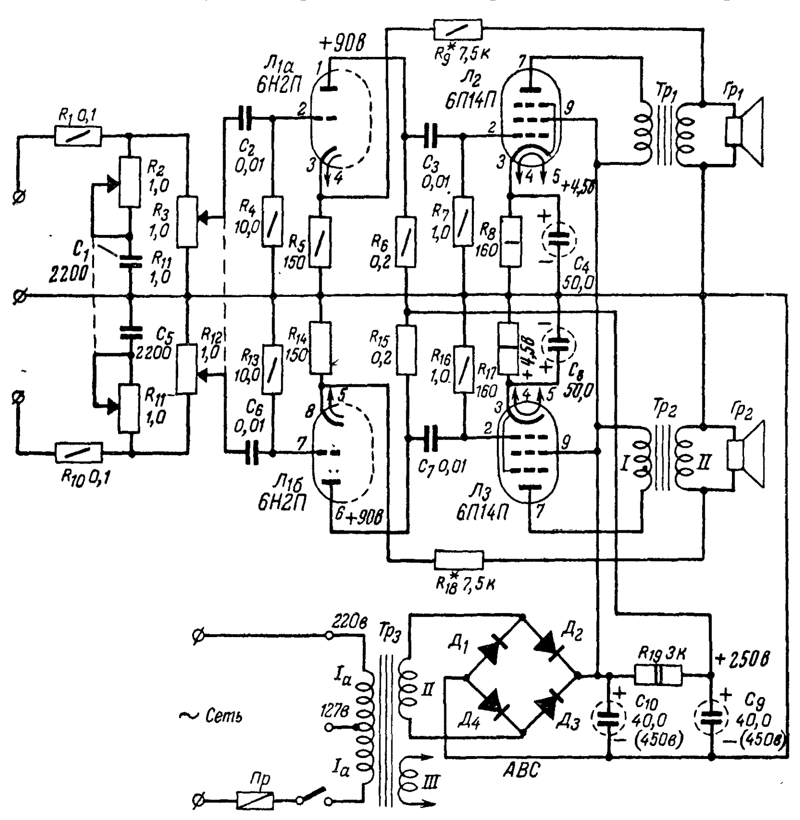


Рис. 42. Принципиальная схема стереофонического усилителя для радиограммофона.

например, схему усилителя левого канала, выполненного на лампах $Л_{1а}$ и $Л_2$.

Напряжение звуковой частоты с соответствующих выводов звукоснимателя подается на вход усилителя через регулятор тембра высших частот и регулятор громкости. Регулировка тембра и громкости осуществляется одно-

временно в обоих каналах. Первый каскад усиления выполнен на одном триоде лампы 6Н2П, напряжение смещения на сетку триода образуется за счет сеточных токов, протекающих по сопротивлению утечки R_4 величиной в 10 *Мом*. Сопротивление R_5 в цепи катода лампы служит лишь для подачи напряжения отрицательной обратной связи. Это напряжение подается с вторичной обмотки выходного трансформатора в цепь катода лампы $Л_{1а}$ через сопротивление R_9. Выходной каскад усилителя выполнен на лампе 6П14П по обычной схеме.

Регулятор стереобаланса в усилителе отсутствует и начальная регулировка усилителей производится подбором сопротивлений R_9 и R_{18}. Питание усилителей производится от двухполупериодного выпрямителя, выполненного по мостовой схеме на пакетном селеновом столбике типа АВС-120-270. Фильтр выпрямителя состоит из сопротивления R_{19} и конденсаторов C_9C_{10}. Электродвигатель радиограммофона переключен на 220 *в* и подключен к обмотке силового трансформатора, рассчитанной на 220 *в*.

Конструкция. Стереофонический радиограммофон выполнен в трех отдельных футлярах. В двух одинаковых футлярах размерами 375×250×92 *мм* смонтированы громкоговорители гипа 2ГД-3. В третьем футляре размером 375×250×140 *мм* находятся электродвигатель, звукосниматель и усилигель.

Детали. В стереофоническом радиограммофоне использован звукосниматель с самодельной головкой, подробно описанный в журнале «Радио», 1960, № 6, стр. 51—53.

Выходные трансформаторы $Тр_1$ и $Тр_2$ выполнены на сердечниках из пластин Ш-16, толщина пакета пластин 20 *мм*. Первичные обмотки имеют по 3 000 витков провода ПЭЛ 0,15 каждая, вторичные обмотки имеют по 80 витков провода ПЭЛ 0,74.

В качестве силового трансформатора $Тр_3$ применен силовой трансформатор от радиолы «Люкс». Можно использовать и самодельный трансформатор со следующими данными: сердечник из пластин типа Ш-20, толщина набора пластин 40 *мм*. Сетевая обмотка *Iа* имеет 385 витков провода ПЭЛ 0,47, обмотка *Iб* — 55 витков того же провода, а обмотка *Iв* — 385 витков провода ПЭЛ 0,38. Повышающая обмотка имеет 830 витков про-

вода ПЭЛ 0,23, а обмотка накала ламп — 22 витка провода ПЭЛ 1,0.

При воспроизведении стереофонических грамзаписей большое значение имеет взаимное расположение акустических систем проигрывателя. Футляры должны быть разнесены между собой на расстояние не менее 1,5 *м*, а взаимное расположение футляров подбирается опытным путем при прослушивании грамзаписи.

ЧЕТЫРЕХЛАМПОВЫЙ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ

Усилитель может быть использован для высококачественного воспроизведения стереофонической грамзаписи, а также в качестве усилителя для приема стереофонического вещания на УКВ диапазоне.

Усилитель имеет два одинаковых канала, выходная мощность каждого канала 3 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 2,5%. Чувствительность усилителей 100 *мв*. В усилителях имеются раздельные регуляторы тембра низших и высших частот. Диапазон регулировок в области низших частот (на частоте 100 *гц*) и высших частот на частоте 10 *кгц*) не менее ±12 *дб*.

Усилитель выполнен на лампах 6Н2П (2 шт.) и 6П14П (2 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 43. Услитель каждого канала имеет два каскада предварительного усиления на лампах 6Н2П и оконечный каскад на лампе 6П14П. Напряжение сигнала каждого канала через спаренные регуляторы громкости R_1, R_{17} поступает на входы усилителей. Между первыми и вторыми каскадами усилителей включены регуляторы тембра и регулятор стереобаланса. Регулировка тембра в области низших частот производится спаренными потенциометрами R_5, R_{20}, а регулировка тембра в области высших частот — спаренными потенциометрами R_7, R_{24}.

Регулировка стереобаланса осуществляется спаренными потенциометрами R_8, R_{25}. Выводы этих потенциометров включаются так, чтобы при движении движков этих потенциометров усиление одного из каналов уменьшалось, а усиление другого канала увеличивалось. Ось этих потенциометров выводится на лицевую панель так же, как и у регуляторов громкости и тембра. Питание

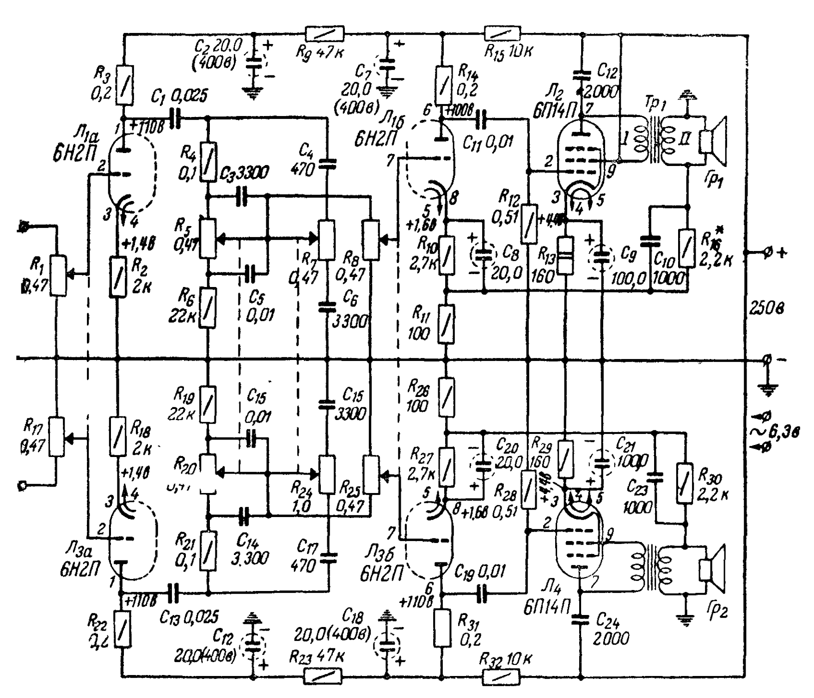


Рис. 43. Принципиальная схема четырехлампового стереофонического усилителя.

усилителя производится от двухполупериодного выпрямителя, собранного по мостовой схеме на пакетном селеновом столбике типа АВС-120-270.

Детали. Выходные трансформаторы Tp_1 и Tp_2 собирают на сердечнике из пластин УШ-16, толщина пакета пластин 20 *мм*. Первичные обмотки наматываются проводом ПЭЛ 0,15 и содержат по 3 500 витков, вторичные обмотки (рассчитанные на подключение нагрузки сопротивлением 4 *ом*) имеют по 165 витков провода ПЭЛ 0,64.

СЕМИЛАМПОВЫЙ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ

Усилитель может быть использован для высококачественного воспроизведения стереофонической грамзаписи или при приеме стереофонических передач на УКВ диапазоне,

Выходная мощность каждого канала равна 8 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 1,5%. Чувствительность 100 *мв*. Усилитель воспроизводит полосу частот от 45 *гц* до 25 *кгц*. В усилителе имеются плавные регуляторы тембра низших и высших частот, диапазон регулировок тембра на низших (на частоте 100 *гц*) и высших (на частоте 10 *кгц*) частотах составляет ±15 *дб*. Усилитель выполнен на лампах 6Н2П (3 шт.) и 6П14П (4 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 44. Усилитель каждого канала имеет два каскада предварительного усиления, фазоинвертор и оконечный двухтактный каскад. Регулировка громкости осуществляется на входе усилителей с помощью спаренных потенциометров R_1, R_{21}. Между первыми и вторыми каскадами усилителей включены широкодиапазонные регуляторы тембра. Регулировка тембра в области низших частот производится спаренными потенциометрами R_4, R_{24}, а регулировка в области высших частот — потенциометрами R_7, R_{27}.

Три последних каскада усилителей охвачены отрицательной обратной связью. Напряжение обратной связи подается с вторичной обмотки выходного трансформатора в цепь катода лампы второго каскада предварительного усиления. Регулировка стереобаланса производится с помощью потенциометра R_{20}. При перемещении движка этого потенциометра происходит изменение глубины отрицательной обратной связи, при этом усиление одного из каналов уменьшается, а другого — увеличивается.

Питание усилителя может производиться от любого выпрямителя, обеспечивающего выпрямленное напряжение 250—270 *в* при токе до 200 *ма*.

Детали. Усилитель рассчитан на работу с широкополосной акустической системой, в которой используются громкоговорители 10ГД-18 (2 шт.) и ВГД-1 (4 шт.).

Выходные трансформаторы $Тр_1$ и $Тр_2$ выполнены на сердечнике из пластин Ш-25 при толщине пакета пластин 30 *мм*. Первичные обмотки каждого трансформатора имеют 2×1 500 витков провода ПЭЛ 0,15. Вторичные обмотки имеют по 110 витков провода ПЭЛ 0,64.

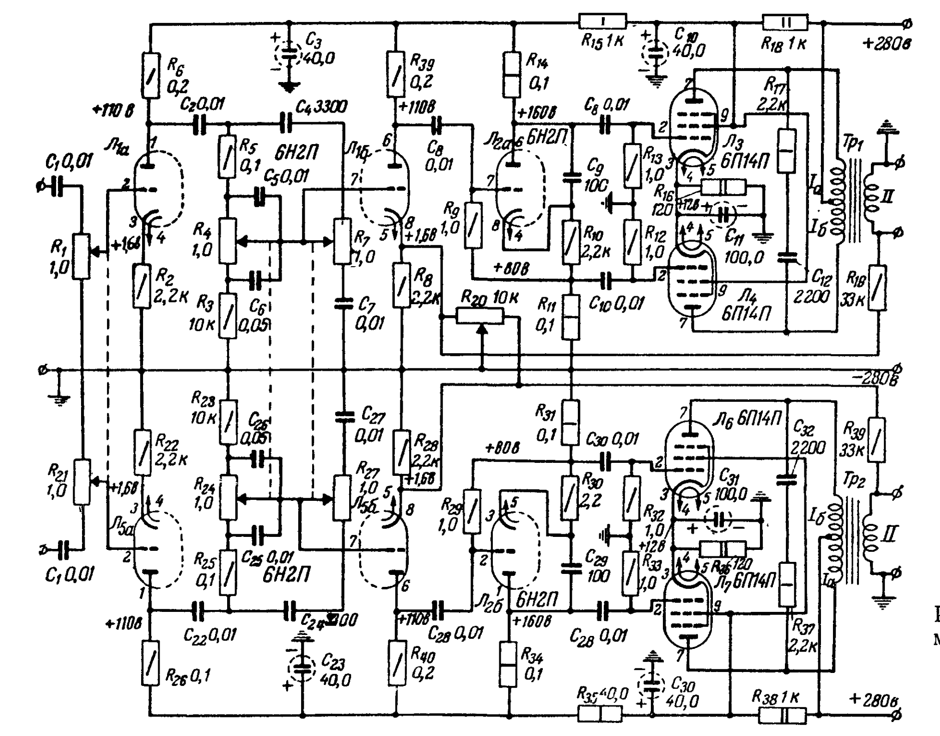


Рис. 44. Принципиальная схема семилампового стереофонического усилителя.

УСИЛИТЕЛИ НА ТРАНЗИСТОРАХ

ЭКОНОМИЧНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ КАРМАННОГО ПРИЕМНИКА

Особенностью данного усилителя является его высокая экономичность, что достигается особой схемой подачи смещения на базы транзисторов оконечного каскада.

Выходная мощность усилителя 100 *мвт* при коэффициенте нелинейных искажений около 5%. Чувствительность усилителя 25 *мв*. При напряжении питания 9 *в*

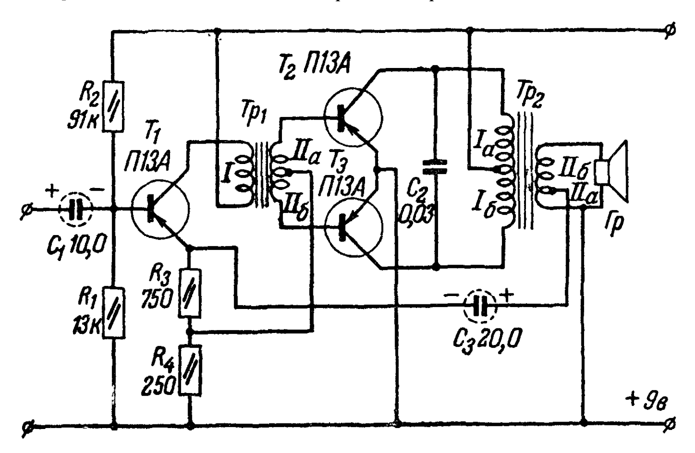


Рис. 45. Принципиальная схема экономичного усилителя для карманного приемника.

усилитель потребляет в паузах ток 2,5 *ма*, при максимальной выходной мощности потребляемый ток равен 20 *ма*.

Усилитель выполнен на трех транзисторах типа П13А.

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 45. Усилитель выполнен по схеме трансформаторного усилителя с общим эмиттером, что обеспечивает высокое усиление по напряжению. Оконечный усилитель выполнен по двухтактной схеме и работает в режиме класса В. Нагрузкой оконечного каскада является громкоговоритель с сопротивлением звуковой катуш-

ки 6 *ом*, подключенный через выходной трансформатор $Тр_2$.

В большинстве двухтактных усилителей, выполненных по схеме с общим эмиттером, напряжение смещения на базы транзисторов подается с отдельного делителя, потребляющего ток 2—4 *ма*.

В этом усилителе для создания смещения используется напряжение, образующееся на сопротивлении R_4 за счет постоянной составляющей тока эмиттера транзистора предварительного каскада. Этим достигается уменьшение потребляемого в паузах от батарей тока. Величина сопротивления R_4 подбирается при налаживании усилителя так, чтобы потребляемый усилителем ток в паузах не превышал 2,5—3 *ма*.

Детали. Трансформаторы $Тр_1$ и $Тр_2$ собраны на сердечниках из пермаллоевых пластин Ш-6 при толщине пакета пластин 6 *мм*. Обмотки трансформатора $Тр_1$ имеют следующие данные: *I* — 1 500 витков провода ПЭЛ 0,1, *IIа* и *IIб* — по 500 витков того же провода. Обмотки трансформатора $Тр_2$ имеют следующие данные: *I* — 2×500 витков провода ПЭЛ 0,18; *IIа* — 2 витка провода ПЭЛ 0,28; *IIб*—100 витков того же провода. Вместо транзисторов типа П13А могут быть применены транзисторы типов П14, П15 и П16.

УСИЛИТЕЛЬ БЕЗ ВЫХОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ПЕРЕНОСНОГО ПРИЕМНИКА

(«Радио», 1959, № 9, стр. 44)

Выходная мощность усилителя 200 *мвт* при коэффициенте нелинейных искажений менее 5%. Чувствительность усилителя 5 *мв*.

Усилитель рассчитан на работу с громкоговорителем с сопротивлением звуковой катушки 30 *ом*. Питание усилителя осуществляется от двух батарей для карманного фонаря, к. п. д. усилителя равен 55%.

Усилитель выполнен на четырех транзисторах типа П13А.

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 46. Напряжение сигнала через конденсатор C_1 поступает в цепь базы транзистора первого каскада усилителя, который выполнен по схеме с общим эмитте-

ром. Для повышения входного сопротивления усилителя в цепь эмиттера первого каскада включено сопротивление R_2, за счет которого создается отрицательная обратная связь по току. Второй каскад усилителя является фазоинвертором, выполненным по трансформаторной схеме. Трансформатор Tp_1 включен в цепь кол-

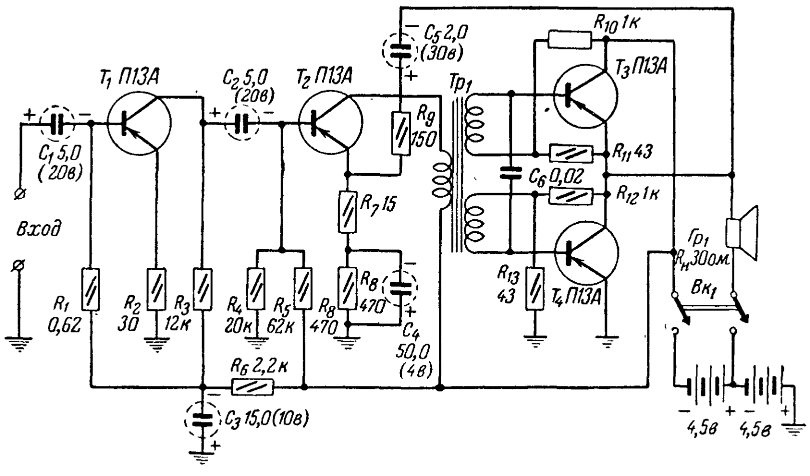


Рис. 46. Принципиальная схема усилителя без выходного трансформатора для переносного приемника.

лектора транзистора T_2, который работает по схеме усилителя с общим эмиттером.

Оконечный каскад выполнен по так называемой двухтактной последовательной бестрансформаторной схеме. Каскад работает в классе В, нагрузкой каскада является электродинамический громкоговоритель с сопротивлением звуковой катушки 30 *ом*.

Для улучшения качественных показателей усилитель охвачен частотно-зависимой отрицательной обратной связью глубиной 1,5 *дб*, вследствие чего частотная характеристика усилителя имеет подъем в области низших частот около 2,5—3 *дб*. Напряжение обратной связи подается с верхнего по схеме вывода звуковой катушки громкоговорителя через цепочку C_5R_9 в цепь эмиттера фазоинверторного каскада.

Детали. Междукаскадный трансформатор Tp_1 выполнен на сердечнике из пластин Ш-6 при толщине пакета

пластин 6 *мм*. Материал пластин — пермаллой с 45-процентным содержанием никеля. Первичная обмотка, включенная в цепь коллектора транзистора $Тр_1$, имеет 2×900 витков провода ПЭЛ 0,1, а вторичные обмотки имеют по 400 витков того же провода.

Намотка трансформатора производится следующим образом: сначала наматывают половину первичной обмотки, затем в два провода наматывают обе вторичные обмотки и, наконец, сверху наматывают вторую половину первичной обмотки. Половинки первичной обмотки соединяют последовательно. Изоляционные прокладки в трансформаторе не применяются.

УСИЛИТЕЛЬ С *p-n-p* и *n-p-n* ТРАНЗИСТОРАМИ

Выходная мощность усилителя 250 *мвт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 10%. Чувствительность усилителя 25 *мв*. Усилитель выполнен на транзисторах П9 (1 шт.) и П14 (5 шт.). Питание усилителя производится от батареи с напряжением 9 *в*. При отсутствии сигнала ток, потребляемый усилителем, равен 5 *ма* при максимальном сигнале 50 *ма*.

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 47. Усилитель имеет каскад предварительного усиления и двухтактный оконечный каскад. Фазоинверторный каскад в усилителе отсутствует, что стало возможным благодаря применению транзисторов с проводимостью различного типа.

Каскад предварительного усиления выполнен по схеме с общим эмиттером на транзисторе T_2 типа П14. В цепь коллектора этого транзистора включены два сопротивления: сопротивление R_1 служит для создания начального напряжения смещения на базы транзисторов T_2 и T_4, а сопротивление R_2 является нагрузкой для транзистора T_1.

Связь между коллектором транзистора T_1 и базами входных транзисторов оконечного каскада осуществляется без переходного конденсатора, что улучшает частотную характеристику усилителя и уменьшает число деталей. Оконечный каскад выполнен по двухтактной последовательной схеме, причем каждое плечо оконечного каскада имеет по два транзистора. Выбранная схема включения транзисторов обеспечивает значительное

усиление по мощности, усиление же по напряжению менее единицы.

Для улучшения показателей и повышения температурной стабильности усилитель охвачен отрицательной обратной связью. Напряжение отрицательной обратной связи подается с выхода усилителя через сопротивление R_3 в цепь базы транзистора T_1. Величина этого

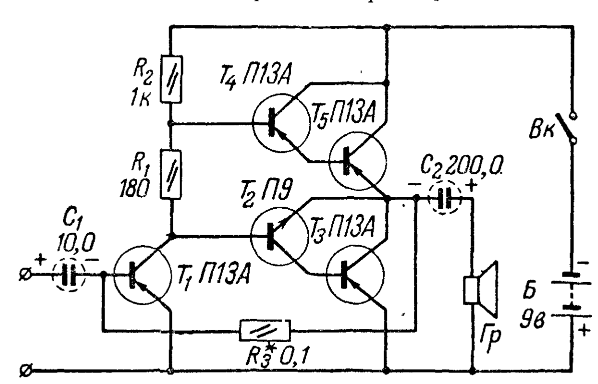


Рис. 47. Принципиальная схема бестрансформаторного усилителя с *p-n-p* и *n-p-n* транзисторами для переносного приемника.

сопротивления определяет режим всего усилителя по постоянному току и подбирается при налаживании.

Детали. Усилитель может работать на любой громкоговоритель с сопритвлением звуковой катушки 4—6 *ом*, возможно использование и более высокоомных громкоговорителей 10—20 *ом*. Однако при этом выходная мощность усилителя снижается.

Вместо указанных на схеме транзисторов типа П14 можно применить транзисторы П13, П13А, П16, а вместо транзистора П9 можно применить транзисторы П10, П11, П101 или П103.

УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ РАДИОГРАММОФОНА

(«Радио», 1959, № 5, стр. 46)

Выходная мощность усилителя 2 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 5%. Чувствительность усилителя 50 *мв*. Частотная характеристика усилителя в полосе частот 100—13 000 *гц* имеет нерав-

номерность не более 9 *дб*. С помощью плавного регулятора тембра можно в широких пределах менять форму частотной характеристики усилителя на высших частотах.

Питание усилителя производится от сети переменного тока через выпрямитель, но возможно также использование батарей или аккумуляторов напряжением 24 *в*.

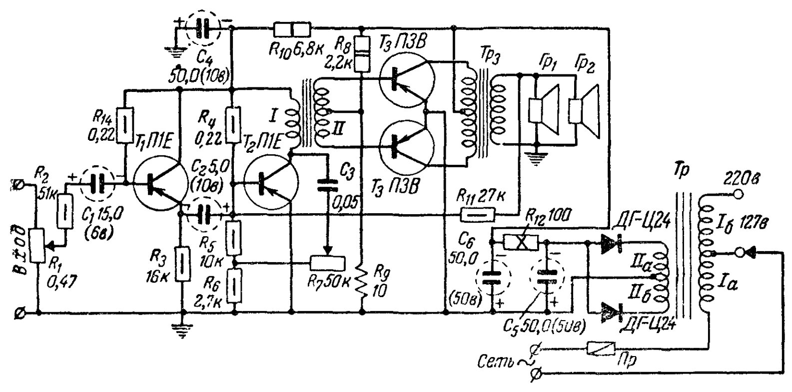


Рис. 48. Принципиальная схема усилителя для радиограммофона.

Усилитель выполнен на транзисторах П1Е (2 шт.) и П3В (2 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 48. Усилитель имеет каскад предварительного усиления, фазоинвертор и оконечный каскад. Напряжение сигнала через регулятор громкости R_1 и цепочку R_2C_1 поступает на вход первого каскада. Для получения большого входного сопротивления первый каскад выполнен по схеме эмиттерного повторителя. Напряжение питания на первый каскад, а также смещение на основание второго каскада подаются через развязывающий фильтр $R_{10}C_4$. С сопротивления R_3 (нагрузка первого каскада) напряжение сигнала поступает на вход второго каскада. Второй каскад выполнен по схеме с общим эмиттером. Трансформатор $Тр_2$ служит для согласования входного сопротивления выходного каскада с нагрузкой второго каскада.

Оконечный каскад усилителя выполнен на двухтактной схеме, работающей в режиме класса В. Выход усилителя рассчитан на подключение нагрузки сопротивле-

нием 3 *ом* (два параллельно включенных громкоговорителя типа 1ГД-9).

Регулировка тембра осуществляется с помощью частотно-зависимой отрицательной обратной связи во втором каскаде усилителя. Напряжение обратной связи подается с коллектора транзистора T_2 в цепь базы этого транзистора через конденсатор C_3 и потенциометр R_7. Усилитель охвачен отрицательной обратной связью, напряжение которой подается с вторичной обмотки выходного трансформатора в цепь базы транзистора T_2 через сопротивление R_{11}. Питание усилителя осуществляется от двухполупериодного выпрямителя на диодах типа ДГ-Ц24. Фильтр выпрямителя состоит из сопротивления R_{12} и конденсаторов C_5 и C_6.

Детали. Силовой трансформатор выполнен на сердечнике из пластин Ш-12 при толщине пакета пластин 24 *мм*. Данные обмоток трансформатора следующие: обмотка *Iа* имеет 650 витков, а обмотка *Iб* — 500 витков провода ПЭВ 0,25, секции обмотки *IIа* и *IIб* имеют по 120 витков провода ПЭВ 0,35.

Выходной трансформатор выполнен на сердечнике из пластин Ш-9 при толщине пакета пластин 24 *мм*. Первичная обмотка *I* имеет 2×500 витков провода ПЭВ 0,15, вторичная *II* имеет 140 витков провода ПЭВ 0,47.

ПРОСТОЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ПРИЕМНИКА

Выходная мощность усилителя 3 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 10%. Чувствительность составляет 150 *мв*. При напряжении питания 12 *в* потребляемый от аккумулятора ток (при отсутствии сигнала) около 10 *ма*, при максимальной выходной мощности 720 *ма*. Усилитель выполнен на четырех транзисторах: П14 (2 шт.) и П3В (2 шт.).

Схема (рис. 49). Усилитель имеет каскад предварительного усиления, фазоинвертор и двухтактный оконечный каскад, работающий в классе В.

Каскад предварительного усиления выполнен по схеме с общим эмиттером на транзисторе типа П14. Для повышения входного сопротивления в цепь эмиттера транзистора включено сопротивление R_3, благодаря

этому каскад оказывается охваченным отрицательной обратной связью по току. Сопротивление R_3 является также нагрузкой цепи отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается с обмотки *II* выходного трансформатора. Фазоинвертор выполнен по трансформаторной схеме на транзисторе типа П14. Оконечный каскад выполнен на двухтактной схеме на транзисторе

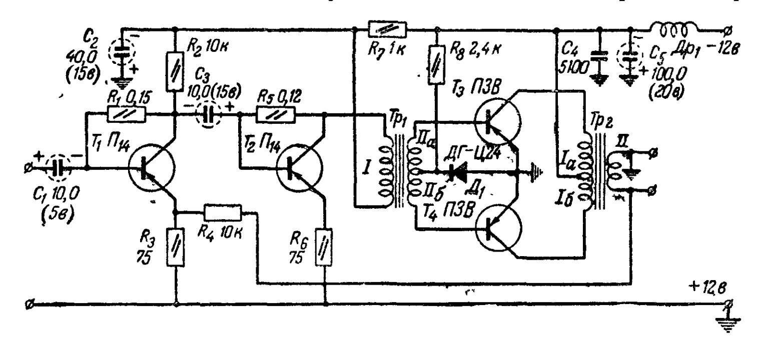


Рис. 49. Принципиальная схема простого усилителя для автомобильного приемника.

типа П3В. Оконечный каскад выполнен на двухтактной схеме с общим эмиттером. Напряжение смещения на базы транзисторов оконечного каскада снимается с плоскостного диода типа ДГ-Ц24. Сопротивление германиевого диода, а следовательно, и напряжение смещения в значительной степени зависят от температуры, причем это изменение смещения от температуры происходит таким образом, что коллекторный ток транзисторов оконечного каскада остается практически постоянным при изменении окружающей температуры.

Использование такой схемы смещения обеспечивает устойчивую работу оконечного каскада в широком интервале температур. Питание усилителя производится от аккумуляторов автомобиля через фильтр $Др_1C_4C_5$.

Детали. Трансформатор $Тр_1$ выполнен на сердечнике из пермаллоевых пластин Ш-6, толщина пакета пластин 10 *мм*. Обмотка *I* имеет 900 витков провода ПЭЛ 0,1, обмотки *IIа* и *IIб* имеют по 200 витков провода ПЭЛ 0,15.

Выходной трансформатор $Тр_2$ выполнен из пластин Ш-12, толщина пакета пластин 15 *мм*. Обмотки *Iа* и *Iб*

имеют по 200 витков провода ПЭЛ 0,4, обмотка *II* имеет 100 витков провода ПЭЛ 0,64 (обмотка рассчитана на подключение громкоговорителя сопротивлением звуковой катушки 4 *ом*).

Дроссель $Др_1$ намотан проводом типа ПЭЛ 1,0 на каркасе диаметром 6 *мм* в четыре слоя, по 200 витков в каждом слое.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НА 6 *вт*

(«Радио», 1960, № 2, стр. 27)

Выходная мощность усилителя 6 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 5%. Чувствительность усилителя 50 *мв*. Частотная характеристика усилителя в полосе частот от 30 до 20 000 *гц* имеет неравномерность не более 3 *дб*. Усилитель имеет отдельный блок, в котором размещены регулятор громкости и тембра. С помощью регулятора тембра суммарная частотная характеристика может изменяться на частоте 20 *гц* не менее чем на ±12 *дб* и на частоте 10 *кгц* не менее чем на ±15 *дб*.

Питание усилителя может производиться как от сети переменного тока через выпрямитель, так и от батарей (например, от семи последовательно включенных батарей для карманного фонаря). При напряжении питания 27 *в* усилитель потребляет при номинальной выходной мощности ток 350 *ма*, в режиме «молчания» потребляемый ток составляет всего 7 *ма*.

Конструктивно усилитель выполнен на трех блоках: блока мощного усилителя, блока регулировок и блока выпрямителя. В усилителе применены 11 транзисторов: П13 (7 шт.), П11 (1 шт.) и П201 (3 шт.).

Схема. Принципиальная схема оконечного усилителя приведена на рис. 50, а схемы блоков регулировок и выпрямителя на рис. 51 и 52. Оконечный каскад мощного усилителя выполнен на двух транзисторах типа П201 по двухтактной последовательной схеме и работает в режиме класса В.

Нагрузкой этого каскада являются звуковые катушки двух громкоговорителей типа 5ГД-14, включенные через разделительный конденсатор C_{13}.

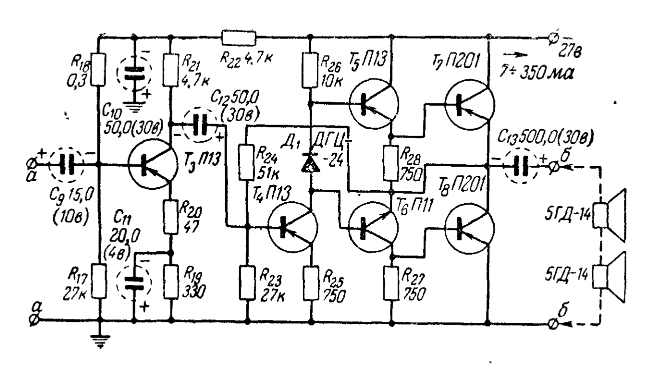


Рис. 50. Принципиальная схема оконечного блока высококачественного усилителя на транзисторах.

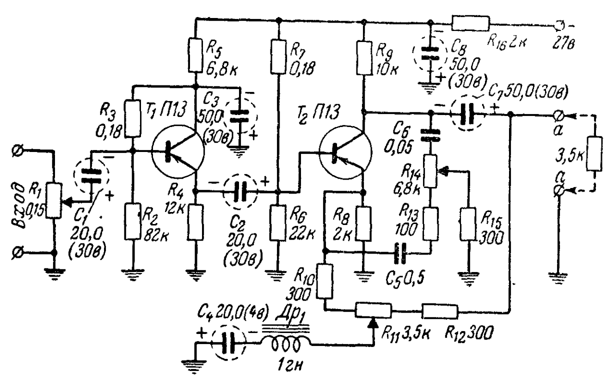


Рис. 51. Принципиальная схема блока регулировок высококачественного усилителя на транзисторах.

Предоконечный каскад также работает по двухтактной схеме в режиме класса В. Каскад выполнен на транзисторах с различной проводимостью (*p-n-p* и *n-p-n*), что позволило исключить фазоинверсный каскад. Базы транзисторов T_5 и T_6 соединены с коллектором транзистора T_4 без переходного конденсатора. Для повышения температурной стабилизации в цепь коллектора транзистора T_4 включен полупроводниковый диод ДГ-Ц24.

Первый каскад блока оконечного усилителя выполнен на транзисторе П13 по схеме с заземленным эмиттером. Входное сопротивление каскада 3,5 *ком*.

Для уменьшения нелинейных искажений три последних каскада мощного усилителя охвачены отрицательной обратной связью. Напряжение обратной связи снимается с выхода усилителя и через сопротивление R_{24} подается в цепь базы транзистора T_4.

Блок регулировок выполнен на двух транзисторах. Первый каскад выполнен по схеме эмиттерного повторителя, что обеспечивает входное сопротивление 45 *ком*. С помощью потенциометра R_1 регулируется громкость, причем для получения плавной регулировки необходим потенциометр с логарифмической зависимостью сопротивления от угла поворота.

Регулировка тембра осуществляется во втором каскаде усилителя с помощью частотно-зависимой обратной связи. Напряжение обратной связи подается из цепи коллектора транзистора T_2 в цепь эмиттера этого же транзистора. Регулировка тембра в области низших частот производится потенциометром R_{11}. При правом крайнем (по схеме) положении движка потенциометра R_{11} параллельно коллекторной нагрузке R_9 оказывается подключенным последовательный контур $C_4Др_1$, имеющий низкое сопротивление в области низших частот, что приводит к уменьшению усиления на этих частотах. При левом крайнем положении движка потенциометра R_{11} контур $C_4Др_1$ оказывается подключенным параллельно сопротивлению R_8, что уменьшает обратную связь на низших частотах и ведет к подъему усиления на этих частотах.

Регулировка тембра в области высших частот производится потенциометром R_{14}. В верхнем по схеме положении движка потенциометра сопротивление R_9 блокируется конденсатором C_6, что приводит к уменьшению усиления на высших частотах. В нижнем по схеме положении движка потенциометра сопротивление R_8 блокируется конденсатором C_5, что уменьшает обратную связь на высших частотах и приводит к подъему частотной характеристики на этих частотах.

Питание усилителя производится от выпрямителя со стабилизатором на транзисторах (рис. 52). Установка напряжения на выходе стабилизатора производится потенциометром R_{32}.

Конструкция. Все блоки монтируются на гетинаксовых панелях толщиной 2—3 *мм*, размеры этих панелей опре-

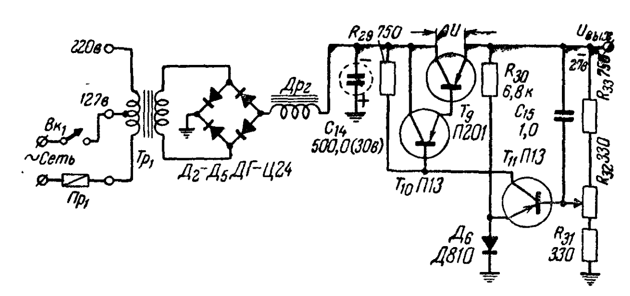


Рис. 52. Принципиальная схема выпрямителя для высококачественного усилителя на транзисторах.

деляются габаритами примененных деталей. Для облегчения теплового режима транзисторов T_7, T_8 и T_9 их следует монтировать на теплоотводах в виде металлических пластинок размерами 50×100 *мм*. Проводники, соединяющие блок регулировок, следует заключить в экран в том случае, если проводники имеют длину более 0,5 *м*.

УСИЛИТЕЛЬ НА 10 *вт*

(«Радио», 1959, № 8, стр. 44)

Усилитель предназначен для воспроизведения грамзаписи или усиления речей при работе от электродинамического микрофона.

Выходная мощность усилителя 10 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 8%. Чувствительность усилителя 5 *мв*. Частотная характеристика усилителя в полосе частот 150—6 000 *гц* имеет неравномерность не более 6 *дб*.

Питание усилителя может осуществляться от аккумуляторов, батарей или выпрямителя напряжением 12 *в*. При отсутствии сигнала усилитель потребляет ток 160 *ма*, при максимальной выходной мощности 1,2 *а*.

Усилитель выполнен на транзисторах П13А (1 шт.), П13Б (1 шт.), П201А (1 шт.) и П4Б (2 шт.).

Схема. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 53. Усилитель имеет два каскада предварительного усиления, фазоинвертор и оконечный каскад. Напряжение сигнала через регулятор громкости (потенциометр R_1) поступает на базу транзистора первого

каскада усилителя. Первый каскад включен по схеме с общим коллектором, что обеспечивает высокое сопротивление, необходимое для согласования с выходным сопротивлением пьезоэлектрического звукоснимателя. Для снижения уровня шумов усилителя в первом каскаде применен транзистор с малыми собственными шумами — типа П13Б. Второй каскад выполнен по

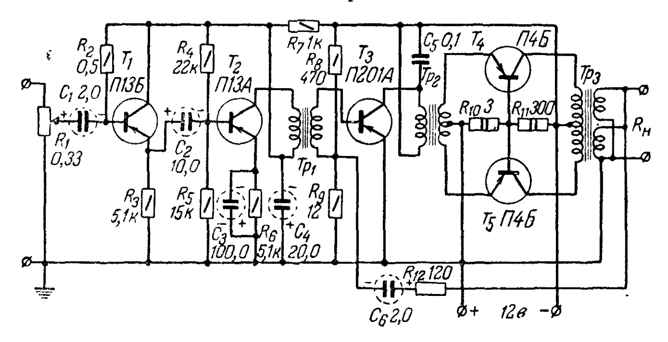


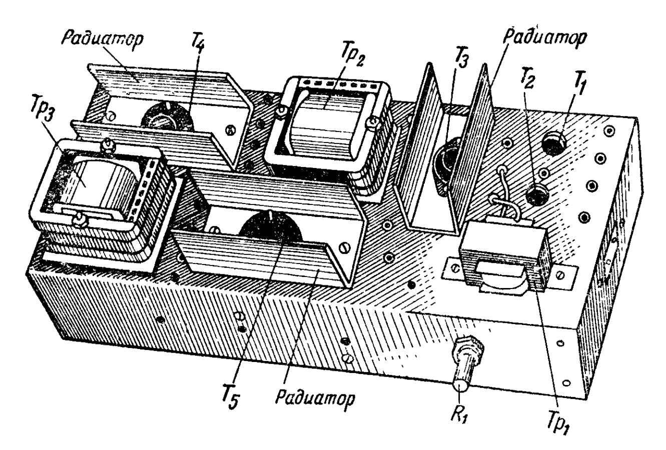
Рис. 53. Принципиальная схема усилителя на транзисторах на 10 *вт*.

схеме трансформаторного усилителя. Фазоинверторный каскад выполнен по схеме усилителя с общим эмиттером, а необходимые противофазные напряжения для возбуждения оконечного каскада получаются с помощью трансформатора Tp_2.

В двухтактном оконечном каскаде транзисторы П4Б используются в схеме усиления с общим эмиттером по постоянному току и по схеме с общим основанием по переменному току, что обеспечивает малые нелинейные искажения. В цепь коллекторов транзисторов T_4 и T_5 включен выходной трансформатор Tp_3, к вторичной обмотке которого подключается нагрузка. Вторичная обмотка состоит из двух одинаковых половин, при параллельном включении этих половин сопротивление нагрузки усилителя должно быть 2 *ом*, а при последовательном включении 8 *ом*.

Оконечный и предоконечный каскады усилителя охвачены отрицательной обратной связью, напряжение которой подается с вторичной обмотки выходного трансформатора Tp_3 через цепочку $R_{12}C_6$ в цепь основания транзистора фазоинвертора.

Конструкция. Усилитель выполнен на гетинаксовой панели (рис. 54) размерами 35×100×220 *мм*, которая закреплена на алюминиевом каркасе. Для отвода тепла, рассеиваемого на коллекторах, транзисторы T_3, T_4 и T_5 закреплены на радиаторах, выполненных из листового алюминия толщиной 2—3 *мм*. Рабочая площадь каждого радиатора должна быть не менее 65 $см^2$.



Гис. 54. Конструкция усилителя на транзисторах на 10 *вт*.

Детали. В качестве сердечников всех трансформаторов усиления применены пластины из пермаллоя (45%).

Трансформатор Tp_1 выполнен на сердечнике из пластин Ш-7 при толщине пакета пластин 14 *мм*. Первичная обмотка содержит 5 000 витков провода ПЭЛ 0,07, вторичная обмотка имеет 500 витков провода ПЭЛ 0,12.

Трансформатор Tp_2 выполнен на сердечнике из пластин Ш-12, при толщине пакета пластин 24 *мм*. Первичная обмотка имеет 360 витков провода ПЭЛ 0,41, вторичные обмотки имеют по 16 витков провода ПЭЛ 1,6. Для получения симметричных обмоток намотка вторичных обмоток должна производиться в два провода.

Выходной трансформатор выполнен на сердечнике из пластин Ш-12 при толщине пакета пластин 24 *мм*. Первичная обмотка имеет 2×64 витка, а вторичная обмотка имеет 2×33 витка. Обе обмотки наматываются проводом диаметром 0,8 *мм*, намотка каждой из половин обмоток ведется в два провода.

Глава четвертая

НАЛАЖИВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Налаживание усилителей низкой частоты в радиолюбительской практике можно условно подразделить на три вида: 1) ремонт ранее нормально работавшего усилителя; 2) налаживание усилителя, выполненного по заводской схеме или по описанию в журнале, брошюре и т. д.; 3) налаживание усилителя, сконструированного радиолюбителем.

В первом и втором случаях результатом налаживания усилителя должно быть получение известных качественных показателей, что значительно облегчает работу. В третьем же случае радиолюбителю необходимо в процессе налаживания определить все качественные показатели, которые могут быть получены от разработанной им схемы.

В данной главе рассматривается методика налаживания усилителей, выполненных по готовым схемам, однако приведенные сведения могут оказаться полезными и в других случаях.

Окончательным этапом при постройке усилителя низкой частоты является испытание усилителя. Поскольку методика испытаний одинакова для всех усилителей, этот раздел выделен особо.

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ ПО МОНТАЖУ УСИЛИТЕЛЕЙ

Нормальная работа усилителя низкой частоты во многом зависит от его монтажа. Плохой монтаж может быть причиной фона переменного тока или паразитной обратной связи. В свою очередь это может привести к неустойчивой работе усилителя и даже его самовозбуждению, к большим частотным и нелинейным искажениям и даже к выходу из строя отдельных элементов усилителя (ламп, трансформаторов и т. п.).

Чем большее усиление должен обеспечивать усилитель и чем меньше размеры конструкции, тем более тщательно должен быть выполнен монтаж усилителя.

Усилители с выходной мощностью до 8—10 *вт* можно собирать на общем шасси с выпрямителем. Усилители же с выходной мощностью 8—25 *вт* целесообразно изго-

тавливать в виде двух отдельных блоков: блока предварительного усиления и блока мощного усилителя с выпрямителем. В блоке предварительного усиления, который может быть выполнен в виде компактной выносной конструкции небольших размеров, располагаются регулятор громкости, переключатель рода работ и регуляторы тембра. Выходное напряжение этого блока должно быть не менее 0,5—1 *в*. В блоке мощного усилителя обычно никаких органов регулировки не делают. Такое разделение позволяет значительно уменьшить всякого рода наводки на каскады предварительного усиления от выходного, силового трансформатора и дросселей фильтра. Наводки же в блоке оконечного усилителя менее опасны, так как уровень входного сигнала довольно высок.

При монтаже усилителя отдельные каскады надо располагать так, чтобы его выходные цепи были по возможности дальше от входных. Если во входной и выходной цепях имеются трансформаторы, то они должны быть расположены как можно дальше друг от друга, а ориентированы так, чтобы направление их магнитных полей было в пространстве разнесено на 90° (в трансформаторах с обычным Ш-образным железом направление магнитного поля совпадает с направлением оси катушек). В усилителях с большим коэффициентом усиления, например в усилителе для работы от электродинамического микрофона, входной трансформатор должен быть помещен в экран из пермаллоя или трансформаторной стали. Входной трансформатор следует располагать рядом с входной лампой.

Включение звукоснимателя и микрофона на вход усилителя нужно производить обязательно двухжильным проводом в экранирующей оплетке, причем оплетка должна быть соединена как с корпусом усилителя, так и с корпусом звукоснимателя или микрофона. Использование оплетки экранированного провода в качестве одного из токонесущих проводов недопустимо, так как это может вызвать значительный фон переменного тока на выходе усилителя.

При монтаже усилителя следует избегать длинных проводов в сеточных и анодных цепях ламп. Если этого избежать нельзя, то сеточные провода следует экранировать, а анодные удалять от сеточных. Наибольшую

опасность с точки зрения образования нежелательных связей представляют проводники, идущие от анода выходной лампы к выходному трансформатору, а также проводники от вторичной обмотки к громкоговорителю.

Монтаж накальных цепей ламп следует производить двумя свитыми между собой проводниками, причем проводники от накальной обмотки силового трансформатора в первую очередь должны подводиться к входной лампе усилителя. Ни в коем случае недопустимо использование шасси в качестве одного из проводов накальной цепи.

Сердечники трансформаторов и дросселей, а также корпуса потенциометров следует тщательно заземлять. Оплетки экранированных проводов обязательно заземлять с обоих концов.

Заземление желательно осуществлять при помощи специальной шины, которая соединяется с корпусом в одной точке. Эта точка должна быть расположена ближе к первым каскадам усилителя, точное место подключения шины находят путем пробных соединений шины с корпусом по минимальному фону на выходе усилителя.

Для ускорения налаживания усилителей рекомендуется перед монтажом проверять качество всех без исключения элементов схемы. Нахождение неисправных деталей в усилителе иногда занимает значительно больше времени, чем проверка их перед установкой, ибо в смонтированном усилителе труднее проверить исправность детали и, кроме того, наличие одной неисправной детали может вызвать выход из строя других, иногда дорогостоящих, деталей.

НАЛАЖИВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ

Перед налаживанием и проверкой усилителя необходимо тщательно сверить соответствие монтажа принципиальной схеме. Затем следует проверить отсутствие коротких замыканий в цепи сетевой обмотки силового трансформатора и цепи высокого напряжения выпрямителя. Проверка производится омметром или авометром, который включают между штырьками сетевой вилки. Омметр должен показать обрыв цепи (т. е. сопротивление изоляции) при положении «Выключено» выключателя сети, и сопротивление 50—200 *ом* (сопротивление обмоток трансформатора или автотрансформатора)

в положении «Включено». Для проверки анодной цепи выпрямителя авометр подключают между шасси усилителя и плюсовым выводом первого конденсатора фильтра. Если выпрямитель выполнен на кенотроне, то после заряда конденсатора фильтра омметр покажет сопротивление изоляции конденсаторов фильтра. У хороших конденсаторов сопротивление изоляции должно быть не менее 200—250 *ком*. Если показания будут значительно меньше, надо отсоединить один вывод конденсатора и определить место неисправности.

Если выпрямитель выполнен на полупроводниковых диодах, то проверку надо производить при определенной полярности подключения щупов омметра: щуп с обозначением — «*общ*» надо подключать к положительному выводу конденсатора фильтра, другой щуп — к шасси усилителя. Только в этом случае омметр покажет правильное значение — не менее 100—200 *ком*.

Если коротких замыканий нет (или после их устранения, если они есть), можно вставить лампы в панельки, подключить на выход усилителя нагрузку (громкоговоритель) и включить усилитель в электросеть, предварительно замерив напряжение сети. Налаживание усилителя можно производить, если напряжение сети отличается от номинального не более чем на ±10%.

После прогрева ламп следует убедиться в отсутствии самовозбуждения усилителя. Если в усилителе имеется отрицательная обратная связь, охватывающая трансформаторные каскады, то перед налаживанием цепь обратной связи рекомендуется отключать. При самовозбуждении на низких частотах в громкоговорителе будет слышен громкий звук, тональность которого может быть самой различной. Самовозбуждение на низких частотах обычно удается устранить увеличением емкости развязывающих фильтров в анодных цепях ламп усилителя и увеличением емкости конденсатора на выходе фильтра выпрямителя. Для этого параллельно имеющимся в схеме конденсаторам развязок и фильтров временно подключают заведомо исправный конденсатор емкостью 10—20 *мкф* и проверяют, не пропадает ли самовозбуждение.

Более сложно определить наличие самовозбуждения усилителя на сверхзвуковых, неслышимых ухом, частотах. Самовозбуждение усилителей на этих частотах

часто является причиной искажений, проявляющихся в виде различных хрипов и шорохов.

Обнаружить самовозбуждение на сверхзвуковых частотах можно с помощью осциллографа или лампового милливольтметра переменного напряжения, который следует подключить параллельно звуковой катушке громкоговорителя. Если усилитель самовозбудился, то милливольтметр покажет напряжение, равное или меньшее номинального выходного напряжения.

При наличии только вольтметра постоянного напряжения его следует включить параллельно катодному сопротивлению лампы (или ламп) оконечного каскада. Если при замыкании управляющей сетки лампы оконечного каскада показания вольтметра будут уменьшаться, то усилитель самовозбужден. Объясняется это тем, что при самовозбуждении усилителя на управляющую сетку поступает напряжение генерации, которое смещает рабочую точку лампы.

Если в усилителе обнаружена паразитная генерация, то прежде всего следует определить место ее возникновения. Для этого надо поочередно отключать входные каскады усилителя, что проще всего сделать, вынимая лампы этих каскадов, и найти каскад, при отключении которого пропадает самовозбуждение.

Устранить самовозбуждение в каскадах предварительного усиления можно осуществить поочередным шунтированием анодов ламп этих каскадов на землю конденсаторов емкостью 50—200 *пф*. Лучшие результаты можно получить при включении между анодом и сеткой этого каскада последовательной цепочки из сопротивления 50—100 *ком* и конденсатора емкостью 10—50 *пф*. Устранить самовозбуждение в оконечном каскаде можно путем последовательного включения в цепь управляющей сетки лампы антипаразитного сопротивления величиной 1—10 *ком*.

После устранения самовозбуждения переходят к проверке и подгонке режимов ламп по постоянному току. Проверку начинают с блока питания. При номинальном напряжении сети напряжение накала ламп и на выходе выпрямителя должно отличаться от номинального не более чем на ±10%.

Если выпрямитель дает заниженное напряжение, следует проверить, не превышает ли потребляемый от

выпрямителя ток указанное в описании значение. Обычно анодный ток всех ламп каскадов предварительного усиления не превышает 5—8 *ма*, поэтому основным потребителем тока является оконечный каскад. Определить величину тока, потребляемого оконечным каскадом, можно путем замера напряжения на сопротивлении в цепи катода лампы и расчета его по закону Ома. В случае использования в оконечном каскаде смещения от отдельного источника для измерения анодного тока лампы миллиамперметр подключают параллельно первичной обмотке выходного трансформатора или одной половине выходного трансформатора в двухтактной схеме.

При проверке режимов ламп следует помнить, что напряжение смещения ламп должно отличаться от указанного в описании не более чем на ±10%. Напряжение на анодах ламп каскадов предварительного усиления на триодах может отличаться на ±20%, а напряжение на анодах и экранирующих сетках пентодов в каскадах предварительного усиления может отличаться на ±25%.

Если напряжения на электродах какой-либо лампы отличаются больше, чем приведенные выше допустимые отклонения, то следует сначала проверить соответствие номиналов деталей в цепях электродов ламп, а затем, если все исправно, сменить лампу.

В случае необходимости подгонки режима ламп подгонку всегда начинают с подбора напряжения смещения, а только затем подгоняют напряжения на остальных электродах лампы.

После проверки и подгонки режима ламп надо проверить работоспособность усилителя. Для этого следует коснуться каким-либо металлическим предметом незаземленного входного гнезда усилителя. Если усилитель исправен, то в громкоговорителе будет слышен громкий фон переменного тока. Однако эта простейшая проверка не позволяет определить качество работы усилителя. Качество работы усилителя можно определить на слух, подав на вход усилителя напряжение со звукоснимателя, детектора приемника, трансляционной линии и т. д. При этом проверяют на слух работу регулировок громкости и тембра.

В том случае, если усилитель работает нормально, можно подключить цепи отрицательной обратной связи,

отключенные перед налаживанием усилителя. При этом необходимо правильно включить выводы от обмоток выходного трансформатора. При правильном включении выводов в усилителе должны уменьшиться шумы и фон переменного тока, что можно проверить по милливольтметру, подключенному к выходным зажимам громкоговорителя или на слух. При неправильном включении выводов в усилителе возникает низкочастотная генерация.

Следует отметить, что генерация, особенно на высоких частотах, может возникнуть и при правильном включении выводов из-за плохой фазовой характеристики усилителя при глубокой обратной связи. Поэтому глубину отрицательной обратной связи рекомендуется увеличивать постепенно, для чего сопротивление регулировки обратной связи заменяют переменным и величину его подбирают опытным путем. При этом по мере увеличения глубины отрицательной обратной связи необходимо с помощью одного из указанных выше способов проверять отсутствие самовозбуждения усилителя.

Если усилитель выполнен по хорошо отработанной схеме, в нем применены исправные детали и монтаж его выполнен достаточно тщательно, то налаживание усилителя на этом может закончиться.

В случае, если качество работы усилителя не удовлетворяет радиолюбителя, переходят к тщательному покаскадному налаживанию усилителя.

Немало хлопот радиолюбителю доставляет подавление в усилителе фона переменного тока. Прежде всего необходимо определить источник фона, что иногда бывает сделать очень трудно.

Прежде всего необходимо проверить, не поступает ли фон переменного тока на вход усилителя. Для этого необходимо замкнуть накоротко входные зажимы. Если фон не исчезнет, то это означает, что фон возникает в самом усилителе.

Причиной фона может быть плохая фильтрация анодного напряжения, наводки на сеточные цепи ламп предварительных каскадов и наводки от накальных цепей из-за наличия значительной емкости между нитью накала и сеткой лампы, наличия утечки между нитью и катодом лампы и тока эмиссии между нитью лампы и катодом.

Устранить первую причину фона можно подключением к выходному конденсатору фильтра заведомо исправного конденсатора большой емкости (40—100 *мкф*). Если при этом фон пропадет, следует увеличить емкость конденсаторов фильтра или индуктивность дросселя фильтра.

Для того чтобы проверить, нет ли наводок на сеточные цепи, следует поочередно заземлять управляющие сетки всех ламп, начиная с входной лампы. Если при заземлении сетки какой-либо лампы фон пропадает, то источник фона находится в предыдущих каскадах. Передвигаясь постепенно ко входу усилителя, мы найдем место, в котором при замыкании на землю анода предыдущей лампы фон будет сохраняться. Это укажет на то, что наводка происходит на элементы, расположенные в цепи сетки этой лампы. Устранить наводку в этом случае можно экранировкой проводников и деталей в цепи сетки, а также изменением расположения этих деталей и проводников. Если и при такой покаскадной проверке не удастся найти источник фона, то следует попробовать заземлить другой конец накальной обмотки (рис. 55,*а*), заземлить среднюю точку нити накала (рис. 55,*б*), заземлить нить накала через потенциометр сопротивлением 100—150 *ом* (рис. 55,*в*) или подать на нить накала положительное напряжение 10—15 *в* (рис. 55,*г*). Наилучшие результаты дает питание нити накала лампы первого каскада постоянным током (рис. 55,*д* и *е*).

Если усилитель не обеспечивает пропускания заданной полосы частот, то причиной этого могут быть при завале низших частот: малые значения емкости переходных и блокировочных конденсаторов, малая индуктивность первичной обмотки выходного трансформатора; при завале высших частот: большая емкость монтажа анодных цепей на землю, велика блокирующая емкость с анода выходной лампы на землю или большая индуктивность рассеяния между обмотками выходного трансформатора.

Кроме этого, причинами частотных искажений может быть ошибка в номиналах радиодеталей или монтаже цепей регулировки тембра и цепи отрицательной обратной связи. Убедиться в этом можно временным исклю-

чением из схемы регуляторов тембра или отключением цепи обратной связи. Если это не помогает, приходится снимать частотные характеристики каждого каскада, чтобы определить, в каком каскаде возникают искажения.

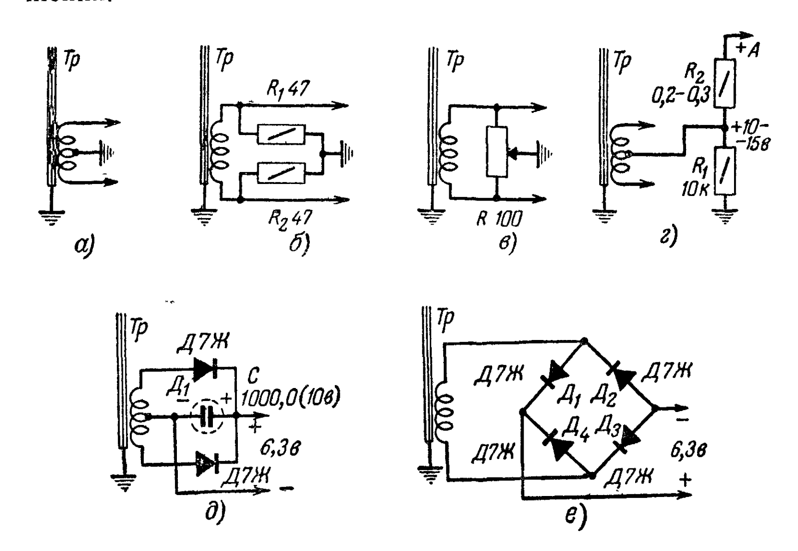


Рис. 55. Схемы уменьшения фона переменного тока.

а — заземление средней точки накальной обмотки; *б*, *в* — создание искусственной средней точки цепи накала; *г* — подача на накал положительного напряжения; *д* — двухполупериодный выпрямитель для питания накала ламп постоянным током; *е* — мостиковая схема выпрямителя для питания накала ламп.

Регуляторы тембра, выполненные в виде частотно-зависимых делителей напряжения, не требуют никакой наладки, если все элементы имеют указанные в описании номиналы. Налаживание регуляторов тембра в цепи отрицательной обратной связи представляет значительные трудности, поэтому такие схемы нельзя рекомендовать для радиолюбительских конструкций.

Последним этапом налаживания является сведение к минимуму нелинейных искажений. Если режимы ламп подобраны, то причиной нелинейных искажений может быть плохое или недостаточное согласование громкоговорителя с лампой оконечного каскада, а в двухтактных усилителях нелинейные искажения могут быть из-за разбаланса плеч оконечного каскада.

Для балансировки плеч оконечного каскада следует управляющую сетку лампы одного плеча отсоединить от фазоинвертора и соединить с управляющей сеткой лампы второго плеча. В этом случае на сетки обеих ламп поступает напряжение в одинаковой фазе и при симметричных плечах, напряжение на выходе усилителя должно быть близко к нулю. Балансировку плеч при общем катодном сопротивлении производят подбором ламп.

Если нелинейные искажения при выбранной радиолюбителем нагрузке удовлетворяют его, то на этом налаживание усилителя заканчивается. В противном случае необходимо проверить правильность выбора нагрузки и подобрать необходимое число витков вторичной обмотки выходного трансформатора.

Для этого вместо громкоговорителя на выход усилителя включают переменное проволочное сопротивление величиной 10—20 *ом*.

На частоте 1 000 *гц* снимается зависимость коэффициента нелинейных искажений от сопротивления нагрузки (при неизменной выходной мощности).

Если коэффициент нелинейных искажений при выбранной нагрузке велик и сопротивление нагрузки (при котором искажения минимальны) отличается от оптимального более, чем на 20—50%, следует изменить число витков вторичной обмотки выходного трансформатора. Необходимое число витков в этом случае определяют с помощью графика, приведенного на рис. 56. Сначала находится отношение сопротивления нагрузки к оптимальному $R_н/R_0$ и по графику находят вспомогательный коэффициент K. Необходимое число витков вторичной обмотки ω_0 находится умножением числа витков имеющейся обмотки ω на коэффициент K.

Пример. Сопротивление нагрузки равно 8 *ом*, а оптимальное сопротивление нагрузки равно 5 *ом*. Сколько витков должна иметь вторичная обмотка выходного трансформатора, если вторичная обмотка выходного трансформатора имеет 80 витков? Отношение R/R_0 в нашем случае равно $\frac{8}{5} = 1{,}6$. По графику находим $K = 1{,}26$. Следовательно, $\omega = \omega_0 K = 80 \cdot 1{,}26 = 100$ витков.

С помощью этого графика определяют необходимое число витков вторичной обмотки в том случае, когда в распоряжении радиолюбителя имеется громкоговоритель, сопротивление звуковой катушки которого отличается от приведенного в описании. В том случае, когда отношение R/R_0 получается меньше единицы, следует найти

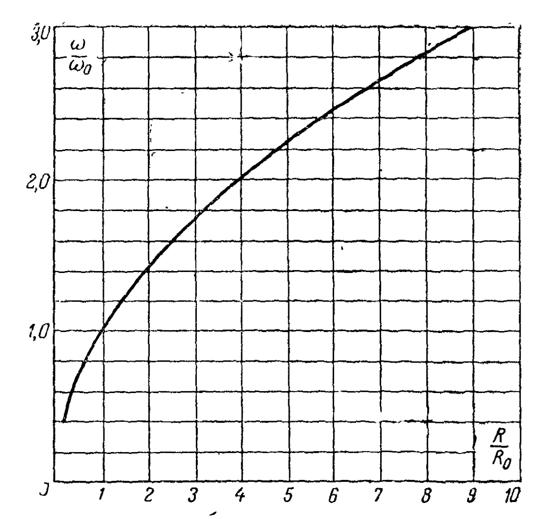


Рис. 56. График для пересчета числа витков вторичной обмотки выходного трансформатора.

отношение R_0/R, найти по графику коэффициент K, а необходимое число витков обмотки найти, как $\omega = \omega_0/K$.

Например, выходной трансформатор рассчитан на нагрузку 4 *ом*, и вторичная обмотка его имеет 100 витков. Сколько витков должна иметь вторичная обмотка для работы на нагрузку сопротивлением 10 *ом*?

Находим отношение $\frac{R_0}{R} = \frac{10}{4} = 2{,}5$.

По графику находим $K = 1{,}6$.

Число витков вторичной обмотки находим, как $\omega = \frac{100}{1{,}6} = 60$ витков.

Окончательную проверку усилителя следует производить с той акустической системой, на которую в дальнейшем будет работать усилитель, путем прослушивания различных речевых и музыкальных программ.

ИСПЫТАНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Измерение номинальной выходной мощности, номинального выходного напряжения и чувствительности. Для определения этих параметров усилителя необходимо снять зависимость выходного напряжения и коэффициента нелинейных искажений от величины входного напря-

жения. Испытание усилителя производят по схеме, приведенной на рис. 57.

Измерения проводят на частоте 1 000 *гц*. Регулятор громкости усилителя устанавливают в положение максимального усиления, а регуляторы тембра — в положение наиболее широкой полосы. Выходное напряжение генератора постепенно увеличивают от нуля до тех пор, пока дальнейшее увеличение уже не будет практически вызывать увеличения напряжения на нагрузке.

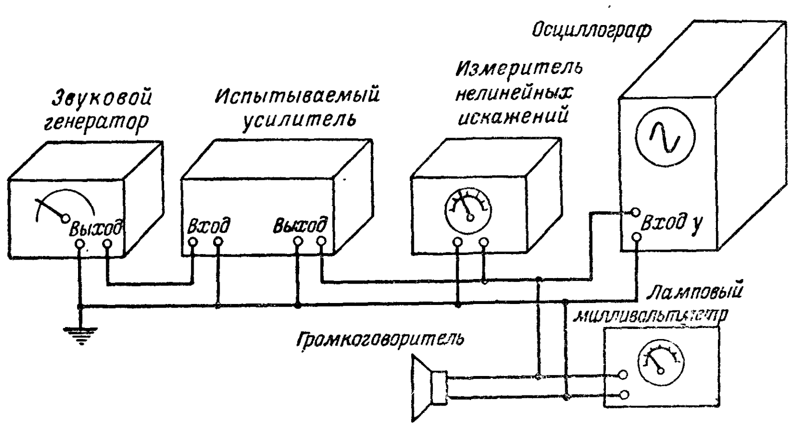


Рис. 57. Схема включений измерительной аппаратуры при испытании усилителей.

При 8—10 значениях входного напряжения производят замер напряжения на нагрузке и коэффициента нелинейных искажений. При этом надо учитывать, что измеренное значение коэффициента нелинейных искажений характеризует суммарные искажения в усилителе и в генераторе звуковой частоты. В большинстве случаев искажения в звуковых генераторах невелики и их не учитывают, однако перед измерением рекомендуется все же измерить коэффициент нелинейных искажений выходного напряжения генератора. Рассчитав значения выходной мощности при различном входном напряжении, строят необходимые графики. Пример такого графика показан на рис. 58.

Из этого графика по допустимому значению коэффициента нелинейных искажений определяют номинальную выходную мощность.

По этому же графику определяют номинальное выходное напряжение и чувствительность усилителя, т. е. величину входного напряжения, при котором выходная мощность равна номинальной.

Из рис. 58 видно, что если коэффициент нелинейных искажений не должен превышать 5%, то номинальная выходная мощность усилителя при этом составляет 16 *ва*, номинальное выходное напряжение 13 *в*, а чувствительность 70 *мв*.

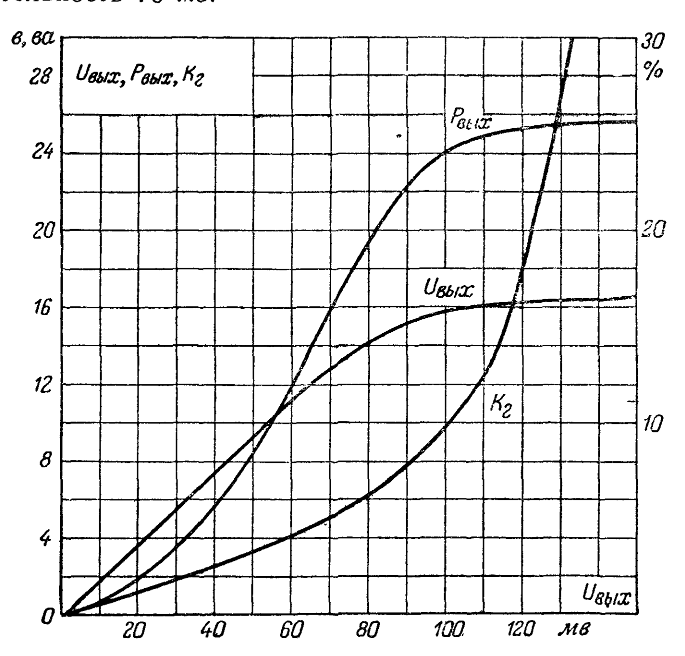


Рис. 58. График зависимости выходного напряжения, выходной мощности коэффициента нелинейных искажений от величины входного напряжения.

По полученным данным можно найти и коэффициент усиления усилителя по напряжению, поделив значение номинального выходного напряжения на чувствительность. В данном случае коэффициент усиления равен ~185.

В том случае, когда у радиолюбителя отсутствует измеритель нелинейных искажений, коэффициент нелинейных искажений можно ориентировочно определить ви-

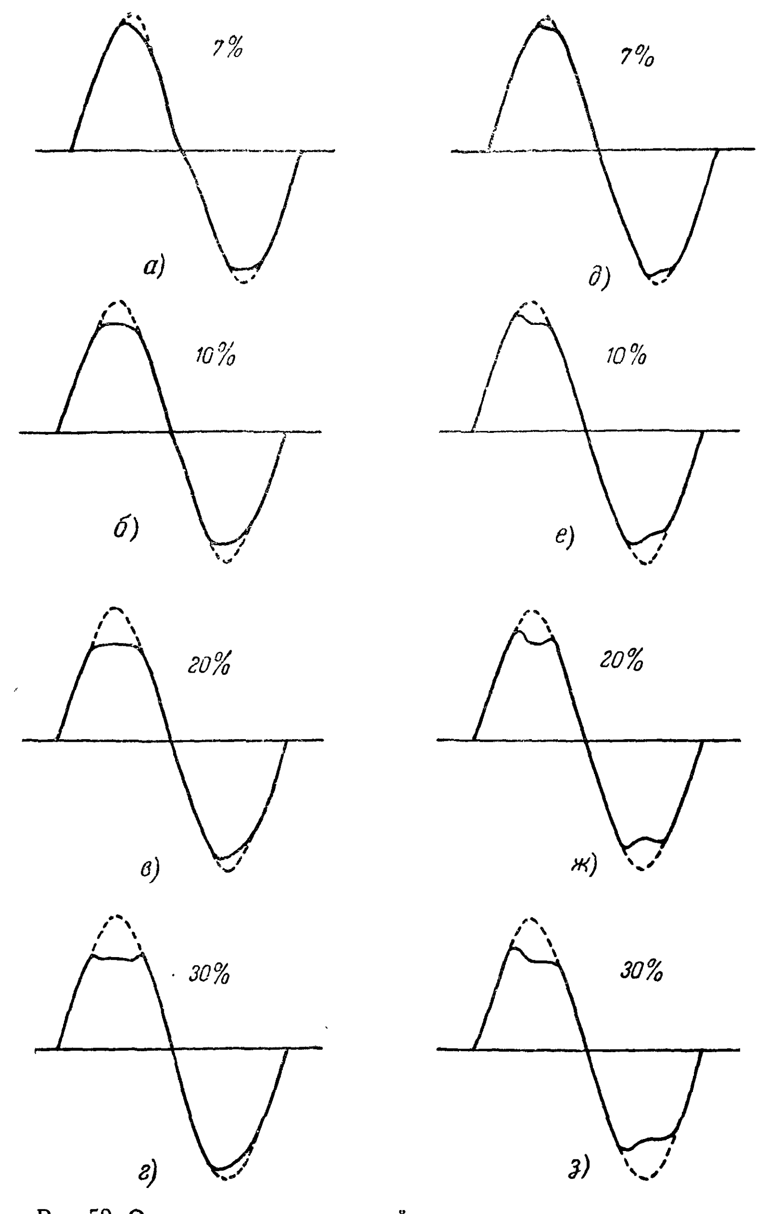


Рис. 59. Осциллограммы искажений синусоидального напряжения.
а, б, в, г — в однотактных усилителях; *д, е, ж, з* — в двухтактных усилителях.

зуально, просматривая искажения формы синусоидального сигнала на экране осциллографа.

При этом надо учитывать, что искажения менее 5—7% на глаз практически незаметны.

На рис. 59 приведены осциллограммы синусоидального напряжения с различной степенью нелинейных искажений усилителей с однотактным и двухтактным оконечным каскадом.

Снятие частотной характеристики. На вход усилителя подается напряжение от звукового генератора с частотой 1 000 *гц*. Величина этого напряжения должна быть такой, чтобы при среднем положении регулятора громкости и регулятора тембра в положении наиболее широкой полосы пропускания выходная мощность составляла 0,1 номинальной мощности. Напряжение на нагрузке при этом должно составлять 0,3 номинального выходного напряжения.

Затем изменяют частоту генератора в обе стороны от 1 000 *гц* в сторону низших частот — через каждые 50—100 *гц*, в сторону высших частот, начиная с 1 000 *гц*, через каждые 1 000 *гц*. В процессе снятия частотной характеристики напряжение на входе усилителя поддерживают постоянным на всех частотах.

Для каждой частоты записывают значение напряжения на нагрузке и по полученным данным строят частотную характеристику. По горизонтальной оси наносят частоты в логарифмическом масштабе, а по вертикальной оси — логарифмы отношения выходного напряжения на данной частоте к выходному напряжению на частоте 1 000 *гц*. При снятии частотной характеристики усилителей следует учитывать одно весьма существенное обстоятельство, которое часто упускается из вида.

Рассмотрим частотную характеристику усилителя, приведенную на рис. 24. Из нее видно, что на частотах 20 *гц* и 20 *кгц* усиление усилителя по напряжению больше, чем усиление на частоте 1 000 *гц*, в 10 раз (на 20 *дб*). Поскольку выходная мощность усилителя пропорциональна квадрату напряжения, то выходная мощность на этих частотах в 100 раз больше, чем на частоте 1 000 *гц*. Нетрудно видеть, что эта мощность не может превышать номинальной выходной мощности усилителя, следовательно, выходная мощность на частоте 1 000 *гц*

при снятии частотной характеристики должна составлять около 0,01 номинальной выходной мощности.

Для получения правильных результатов при измерении частотных характеристик выходное напряжение на частоте 1 000 *гц* следует устанавливать во столько раз меньше номинального выходного напряжения, во сколько раз максимальный подъем усиления на какой-либо частоте превышает усиление на частоте 1 000 *гц*.

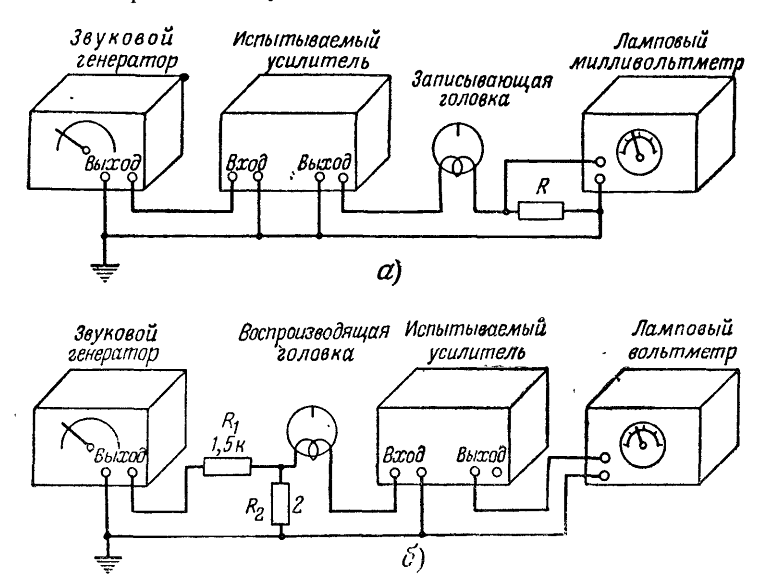


Рис. 60. Схема снятия частотных характеристик усилителей для магнитофона.

а — усилителя записи; *б* — усилителя воспроизведения.

Снятие частотных характеристик усилителей для магнитофона. Сначала испытывают усилитель записи, а если усилитель универсальный, то его включают в режим записи.

Усилитель записи. Под частотной характеристикой усилителя записи понимают зависимость тока в записывающей головке от частоты при неизменном напряжении сигнала на входе усилителя.

Схема снятия частотной характеристики усилителя записи показана на рис. 60,*а*. При этом вч-генератор усилителя должен быть выключен.

В любительских условиях измерение тока производится путем измерения милливольтметром падения напряжения на известном активном сопротивлении, включенном последовательно в цепь головки. Чтобы включение сопротивления не изменяло режима головки, величина его должна быть равной 20—50 *ом* для типовых низкоомных записывающих головок и 100—250 *ом* для универсальных головок. Частотную характеристику снимают при токе записи, равном 0,3—0,5 номинального тока записи (измеренного на частоте 1 000 *гц*) обычным образом.

Усилитель воспроизведения. Под частотной характеристикой усилителя воспроизведения понимают зависимость отношения выходного напряжения усилителя к э. д. с., развиваемой воспроизводящей головкой в зависимости от частоты. Схема снятия частотной характеристики усилителя воспроизведения показана на рис. 60,*б*; э. д. с. вводится в цепь воспроизводящей головки с помощью делителя R, R_2, напряжение на выходе генератора устанавливают равным 0,7—3,5 *в*, чтобы напряжение на сопротивлении R_2 было 1—5 *мв*. Такую э. д. с. развивают воспроизводящие головки на средних частотах.

Определение пределов регулирования тембра. На вход усилителя от звукового генератора подается напряжение 0,25 *в* с частотой 1 000 *гц*. Регулятором громкости усилителя устанавливают напряжение на громкоговорителе, соответствующее нормальной выходной мощности [1]. Установив регуляторы тембра в положение наибольшего усиления верхних и нижних частот, изменяют частоту генератора и записывают значение напряжения на громкоговорителе на различных частотах (на тех же частотах, что и при снятии частотной характеристики). После этого регуляторы тембра переводят в положение наименьшего усиления верхних и нижних частот и повторяют измерения. По полученным данным строят частотные характеристики усилителя при крайних положениях регуляторов тембра, принимая выходное напряжение на частоте 1 000 *гц* за единицу.

---

[1] Если максимальный подъем частотной характеристики усилителя на какой-либо частоте превышает 10 *дб*, то выходное напряжение на частоте 1 000 *гц* следует выбирать в соответствии с изложенным в предыдущем разделе.

Измерение пределов регулирования громкости. Регулятор громкости усилителя устанавливают в положение максимального усиления. На вход усилителя подают такое напряжение от звукового генератора, при котором на громкоговорителе получается нормальное выходное напряжение. Частота входного напряжения должна быть 1 000 *гц*. Записав величину напряжения на выходе генератора, устанавливают регулятор в положение минимального усиления, т. е. положение, при котором выходной сигнал еще прослушивается, но дальнейшее уменьшение громкости происходит сразу скачком до нуля. После этого вновь подбирают такое напряжение на выходе генератора, при котором на громкоговорителе устанавливается нормальное выходное напряжение.

Отношение напряжений на выходе звукового генератора при максимальном усилении, выраженное в децибелах, оценивает пределы регулирования громкости.

Измерение динамического диапазона усилителя. Входные гнезда усилителя замыкают накоротко, регуляторы громкости и тембра устанавливают в положение, при котором напряжение фона на выходе усилителя максимально. С помощью милливольтметра измеряют напряжение фона на зажимах громкоговорителя.

В случае отсутствия у радиолюбителя милливольтметра динамический диапазон можно измерить с помощью вольтметра переменного напряжения с наименьшим пределом измерения 1—3 *в*. Для этого измеряют не напряжение на громкоговорителе, а напряжение на первичной обмотке выходного трансформатора. Вначале измеряют напряжение, при котором напряжение на нагрузке равно номинальному значению, а затем напряжение при замкнутом входе. Отношение этих напряжений в децибелах и есть динамический диапазон усилителя.

СОДЕРЖАНИЕ